

THÈSES

PRÉSENTÉES A LA
FACULTÉ DES SCIENCES DE
L'UNIVERSITÉ D'AIX-MARSEILLE

POUR L'OBTENTION DU GRADE DE
DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ
(Mention SCIENCES)

PAR

JEAN BORDAS

Ingénieur Agronome - Licencié ès-sciences
Directeur de Recherches Agronomiques
Membre de l'Académie d'Agriculture de France

PREMIÈRE THÈSE :

Contribution à l'Étude des Facteurs de
la Production agricole du Bas-Rhône

DEUXIÈME THÈSE :

Propositions données par la Faculté

Soutenues le 5 Juin 1950, devant la Commission d'Examen

MM. G. CORROY, *Président.*

R. CERIGHELLI }
R. MOLINIER } *Examineurs.*

AVIGNON
IMPRIMERIE RULLIÈRE FRÈRES

1950



Digitized by the Internet Archive
in 2026

PREMIERE THESE

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES FACTEURS DE
LA PRODUCTION AGRICOLE DU BAS-RHONE

DEUXIEME THESE :

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

THÈSES

PRÉSENTÉES A LA
FACULTÉ DES SCIENCES DE
L'UNIVERSITÉ D'AIX-MARSEILLE

POUR L'OBTENTION DU GRADE DE
DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ
(Mention SCIENCES)

PAR

JEAN BORDAS

Ingénieur Agronome - Licencié ès-sciences
Directeur de Recherches Agronomiques
Membre de l'Académie d'Agriculture de France

PREMIÈRE THÈSE :

Contribution à l'Etude des Facteurs de
la Production agricole du Bas-Rhône

DEUXIÈME THÈSE :

Propositions données par la Faculté

Soutenues le 5 Juin 1950, devant la Commission d'Examen

MM. G. CORROY, *Président*.

R. CERIGHELLI	}	<i>Examineurs.</i>
R. MOLINIER		

AVIGNON

IMPRIMERIE RULLIÈRE FRÈRES

1950

FACULTÉ DES SCIENCES DE MARSEILLE

Mort au Champ d'Honneur :

M. Fr. MARTY

Maître de Conférences de Mathématiques

(14 Juin 1940)

Doyen et Professeur honoraire :

M. A. MARCHAUD

Professeurs honoraires :

MM. CAULLERY, PÈRES, PETIT, SÈVE, KOLLMANN, BOSLER, THIRY

Secrétaire honoraire :

M. P. CASTELLA

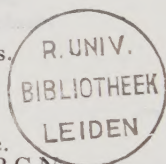
Doyen : M. P. CHOUX.

Assesseur : M. P. ROUARD.

Secrétaire : M. H. LANFRANCHI

Professeurs :

MM. A. TIAN.....	Chimie générale.
E. TRAYNARD.....	Calcul différentiel et intégral.
L. MARGAILLAN.....	Chimie industrielle.
G. CORROY.....	Géologie et minéralogie.
P. CHOUX.....	Botanique générale.
R. CERIGHELLI.....	Agronomie tropicale.
P. ROUARD.....	Physique générale.
J. VALENSI.....	Mécanique des fluides.
P. DESNUELLE.....	Chimie biologique.
M. ABELOOS.....	Zoologie générale.
R. MERIGOUX.....	Physique industrielle.
P. VINCENSINI.....	Mécanique rationnelle.
E. CALVET.....	Chimie M.P.C. et S.P.C.N.
P. BENOIT.....	Physiologie générale.



Professeurs sans chaire :

MM. C. JAUSSEMER.....	Physique M.P.C. et S.P.C.N.
A. FAVRE.....	Météorologie et Mécanique de l'atmosphère.
M. EGER.....	Mathématiques générales.

Chargé de Cours :

M. C. FEHRENBACH.....	Astronomie approfondie.
-----------------------	-------------------------

Maîtres de Conférences :

MM. J.-M. PÈRES.....	Biologie animale.
R. MOLINIER.....	Biologie végétale.
G. CARPENI.....	Chimie P.C.B.
H. CABANNES.....	Mathématiques M.P.C. et S.P.C.N.
P. COTTON.....	Physique P.C.B.

Maître de Conférences-adjoint :

M. J. TIMON-DAVID.....	Zoologie agricole.
------------------------	--------------------

Chargés de Conférences :

M. J. ROUCH.....	Océanographie.
M ^{me} S. TAXY.....	Géographie physique.
MM. MALGUIT.....	Botanique appliquée.
G. GOUZON.....	Physiologie.
C. GOUVERNET.....	Géologie.

Maître de conférences honoraires :

MM. E. MEISSONNIER, H. BIMAR, D. RICARD, R. PADOVA

A la mémoire de mon Père, le Professeur Frédéric BORDAS, avec qui j'ai tant de fois parcouru les sites merveilleux de cette région du Bas-Rhône qu'il aimait tant.

A ma Femme et à mes Filles.

A mes Maîtres de la Faculté des Sciences de Marseille.

A mes Confrères de l'Académie d'Agriculture de France.

A mes Chefs et mes Collègues de l'Institut National de la Recherche Agronomique.

Avec le témoignage de ma vive gratitude.

Avignon, Février 1950.

J.B.

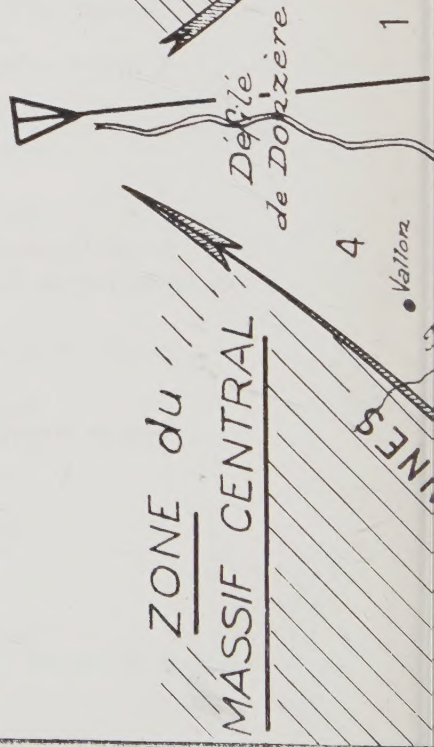
CARTE SCHEMATIQUE

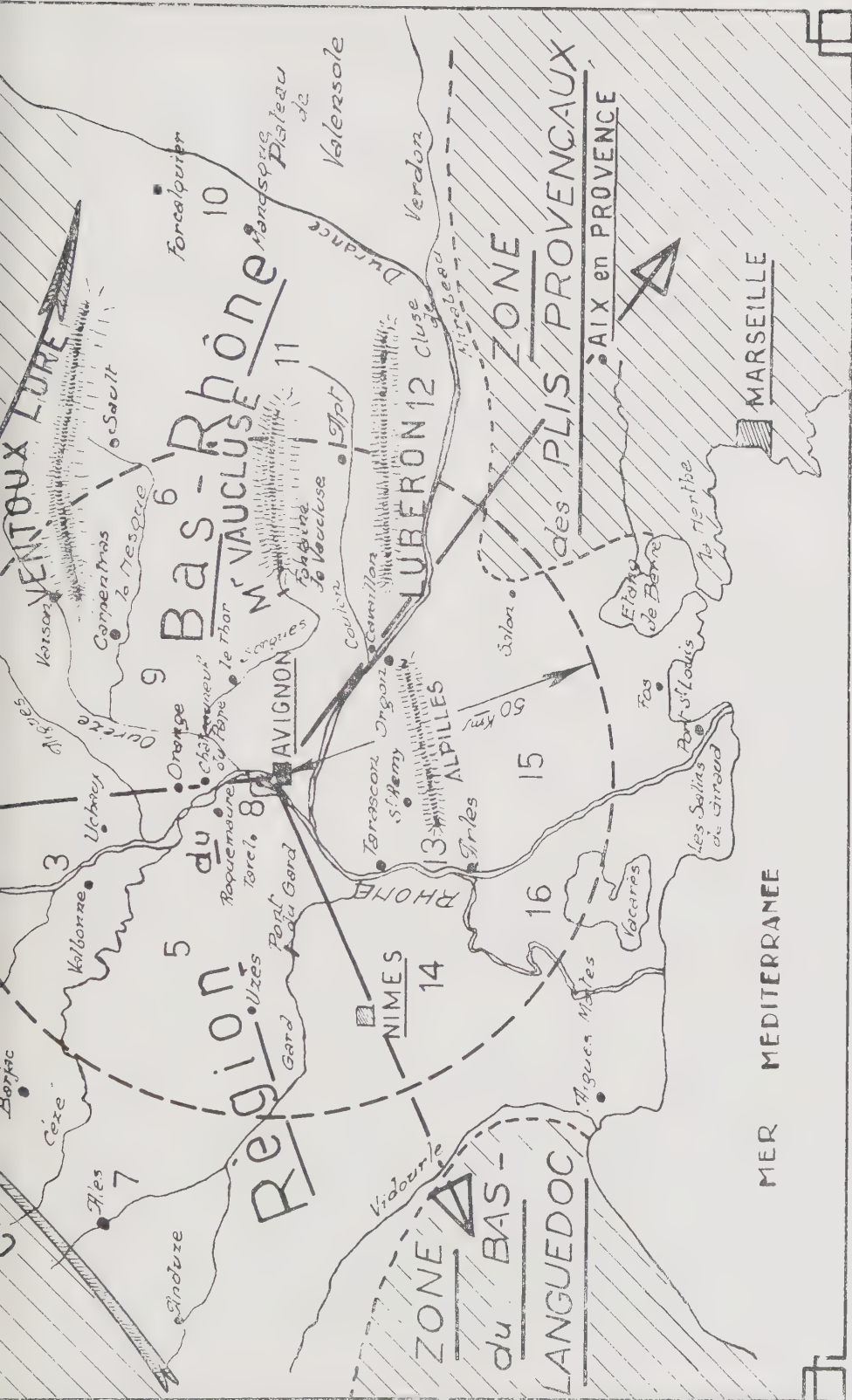
du

BAS-RHÔNE

LES "PAYS" DU BAS-RHÔNE

- 1 — Le Tricastin
- 2 — Le Nyonsais
- 3 — Les bassins d'Ubbaux & de la Valbonne
- 4 — Les plateaux ardéchois (Bas Vivarais)
- 5 — La garrique nîmoise
- 6 — Les plateaux vauclusiens
- 7 — La dépression d'Alès
- 8 — La goulitière tectonique du Rhône
- 9 — La plaine du Comtat
- 10 — Le fossé de la Moyenne Durance
- 11 — Le Bassin d'Ugent-Foncalp
- 12 — Le Pays d'Aigues
- 13 — Les Ségonoux & la vallée de Bay
- 14 — La Costière
- 15 — La Crau
- 16 — La Comarque





CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES FACTEURS DE LA PRODUCTION AGRICOLE DU BAS-RHÔNE

« Nous nous imaginons que nous sommes
« initiés aux mystères de la Nature et nous ne
« faisons que les aborder superficiellement. »

SÉNÈQUE.

PREMIÈRE PARTIE

Production agricole de la Région du Bas-Rhône

La production agricole présente un caractère extrêmement original qui en détermine impérieusement la technique : au lieu d'utiliser l'agent mécanique, physique ou chimique, comme dans l'industrie, elle utilise essentiellement l'agent biologique : la plante et l'animal.

Or, cet outillage, dont le perfectionnement est nécessairement lent (Génétique), est sous la dépendance étroite des facteurs du « milieu naturel ».

Ce milieu est très différent dans les pays méditerranéens et, en particulier, dans la région du Bas-Rhône, de celui des autres régions naturelles de la France. Il doit être connu des Agronomes et des Praticiens, afin de pouvoir adapter la culture la mieux appropriée, afin de placer celle-ci dans les meilleures conditions de nutrition par des pratiques culturales rationnelles, par l'apport raisonné d'amendements et d'engrais.

« Toutes ces conditions de sol, de relief, de climat, pèsent sur
« l'existence des hommes et imposent une orientation originale à
« l'exploitation du sol. » (DEMANGEON.)

§ I. DONNÉES GÉOGRAPHIQUES SUR LA RÉGION DU BAS-RHÔNE

Le Midi méditerranéen est certainement une des régions naturelles de la France qui présente une réelle individualité. Son originalité se marque surtout dans le climat et elle apparaît également dans la végétation ainsi que dans la genèse des sols.

Si certains charmes du paysage de l'Italie ou de l'Orient se retrouvent dans ces régions, et conquièrent le voyageur venant des brumes nordiques, il ne faut pas oublier que les « pays » (*) méditerranéens sont des zones de contrastes que l'agriculteur doit connaître. S'il n'est pas de la région, il se trouve « dépaycé », et ce mot prend ici tout son sens. C'est la raison pour laquelle on doit, avant toute chose, bien situer le domaine agricole que l'on étudie et bien connaître les caractéristiques géographiques du « pays » dans lequel il se trouve, caractères qui, avec ceux du milieu naturel, marquent la destinée de chaque parcelle de terre.

Nous rappelons que les données qui suivent se rapportent seulement à la région du Bas-Rhône.

*
* *

De Lyon au sud de Montélimar, la moyenne vallée du Rhône se compose de petites plaines séparées les unes des autres par des défilés. Après celui de Donzère, le plus méridional, et jusqu'à la Méditerranée, le style morphologique change ; la plaine s'élargit tandis que la montagne recule ; sur la rive gauche les Alpes s'éloignent vers Digne ; sur la rive droite, les Cévennes obliquent en direction du sud-ouest, vers Alès. Nous entrons dans la région du Bas-Rhône, qui présente aussi bien, aux points de vue géologique et pédologique qu'agricole et économique, des traits originaux qui la différencient d'une part de la grande plaine du Bas-Languedoc avec Montpellier comme centre et, d'autre part, de la zone des plis provençaux où Aix-en-Provence trouve une place privilégiée.

Telles sont les limites de cette vaste région de la basse vallée du Rhône dont Avignon occupe le point central au contact de trois anciennes provinces : Languedoc, Provence et Comtat-Venaissin.

C'est une zone de transition entre les pays à climat continental

(*) Le mot « pays » est très significatif et doit représenter une toute autre idée que celle qu'on y attache dans le langage habituel. Il désigne l'ensemble d'une zone ayant des sols analogues, un climat semblable, une même morphologie (exposition-modèle du relief-altitude) et comme conséquence, une flore et une agriculture spéciale. En ce qui concerne la France, « nulle part en Europe, » on ne trouve sur des territoires relativement faibles, une aussi grande diversité « au point de vue sol, climat, végétation naturelle et possibilité agraires. » (Aug. CHEVALIER) (41).

et les pays méditerranéens proprement dits. Le couloir rhodanien sert alternativement de passage aux poussées climatiques chaudes vers le nord, ou, au contraire, de contre-offensive continentale vers le sud.

Cette grande variabilité de climat est due, ainsi que nous l'étudierons, à l'influence de facteurs climatiques brutaux comme le mistral, la longue sécheresse estivale et les averses violentes d'automne.

Entre le Massif central, avec sa bordure cévenole et le Massif ancien des Maures-Estérel, existe une longue succession de plateaux calcaires à aspect tabulaire (Isthme Durancien) (*) ; ceux-ci présentent des cassures orientées Sud-Ouest, Nord-Est (plaine d'Alès, dépression de Nîmes, gouttière tectonique du Rhône, fossé de la moyenne Durance), dues aux influences du soubassement hercynien et des dislocations dirigées Ouest-Est (Ventoux, Lure, Lubéron, Alpilles, etc...), conformes au sens général des plis pyrénéo-provençaux (Sainte-Victoire, Sainte-Baume, l'Estaque, etc...) qui limitent au Sud-Est la région de la basse vallée du Rhône ; au Nord-Est, au-delà de la cluse de Nyons et dans les Baronnies, on est déjà dans les Alpes du Dauphiné.

Plus puissant au début de l'époque quaternaire qu'actuellement, le Rhône a imprimé profondément sa marque dans le paysage de sa vallée, depuis Lyon jusqu'à la mer.

Même après le défilé de Donzère où il pénètre largement dans la zone méditerranéenne, il apporte avec lui ce caractère alpestre des rivières glaciaires qui ont enregistré les vicissitudes des grandes glaciations quaternaires.

Le Rhône et ses principaux affluents ont déversé jadis à l'époque de l'extension des glaciers, d'abord dans le Bas-Dauphiné, des immenses nappes d'alluvions fluvio-glaciaires, puis tout le long de leur parcours, d'importantes masses alluvionnaires à cailloux roulés formant des terrasses successives.

Un limon à éléments fins de formation récente, occupe les parties les plus basses de ces plaines du Bas-Rhône qui, actuellement, sont riches grâce à l'irrigation, mais elles sont encore menacées par les inondations et elles étaient occupées il y a quelques siècles à peine, par des marécages (paluds-clars). On retrouve ce paysage si captivant et si grandiose, en Camargue, où le Rhône forme maintenant sa plaine alluviale et où s'accumulent les limons blanchâtres venus de la Saône, les boues noirâtres de l'Isère et du Drac, les dépôts rougeâtres du Gard et de la Cèze et enfin, les vases grises de la Durance.

La basse vallée du Rhône possède donc une grande diversité de matériaux présentant dans leur distribution, une certaine analogie avec ceux que charrient les deux autres grands fleuves alpins, le Rhin et le Danube.

(*) Nous verrons un peu plus loin (relief), son origine et sa formation. C'est un seuil géologique ainsi appelé par GIGNOUX (75) car il reliait à la fin de l'Infracrétacé, les Cévennes aux Maures, séparant la fosse voconciennne de la Méditerranée, et occupant le cours de la moyenne et basse Durance actuelle.

Les principaux « pays » constituant la basse vallée du Rhône, sont donc les suivants :

Les différents « pays » du Bas-Rhône.	Caractères structuraux (*) et évolution morphologique.
a) Tricastin, Nyonsais et Bassin d'Uchaux (rive gauche du Rhône). b) Région de la Valbonne (rive droite du Rhône).	Synclinaux. Bassin d'ennoyage.
c) Plateaux ardéchois, Garrigues Nîmoises, Plateaux Vauclusiens.	
d) Dépression d'Alès. Dépression de Roquemaure, Nîmes. Gouttière tectonique du Rhône (avec le bassin de Carpentras). Fossé de la moyenne Durance. Les terrasses. La vallée et la fracture de Banon.	Pénéplaines calcaires de l'Isthme Durancien (rive droite et rive gauche du Rhône). Cassures. Bassins d'ennoyage orientées sud-ouest, nord-est dans l'isthme Durancien (influence hercynienne).
e) Arête Ventoux-Lure. Monts de Vaucluse. Chaîne du Lubéron. Massif des Baux et les plans d'Orgon.	Plis pyrénéo-provençaux orientés ouest-est.
f) Bassin Apt-Forcalquier. Pays d'Aigues. Vallée des Baux.	Remblaiements miocènes.
g) Costières, Crau, Camargue.	Formations fluviales.

On trouve parmi ces « pays » les trois principaux types à caractères méditerranéens tels qu'ils existent également en Roussillon, en Espagne, en Italie, en Grèce et en Afrique du Nord et où il reste

(*) Voir chapitre II.

encore, incrusté en maints endroits, un genre de vie si semblable à l'économie de l'antiquité classique :

- la montagne et la colline calcaire pauvre en sol ;
- la terrasse caillouteuse et sèche.
- la plaine basse au sol de limon.

En parcourant ces pays rhodaniens on voit nettement se dégager le principal caractère de cette région ; celle-ci apparaît, en effet, comme une terre de contrastes : irrégularité frappante des facteurs climatiques, passage brusque de la montagne souvent aride ou de la garrigue ensoleillée sans terre végétale, à de vastes étendues alluviales aux sols profonds et plus fertiles, voisinage de pays pauvres où subsiste l'antique économie locale et de zones privilégiées où les cultures spécialisées et intensives ont apporté la richesse malgré l'apparition périodique de graves crises agricoles, telles sont ces contrées de la basse vallée du Rhône où le Sol et l'Eau resteront toujours les deux conditions essentielles de la Vie.

§ 2. PRODUCTION AGRICOLE

HISTORIQUE ET ÉVOLUTION DES CULTURES

Les nombreux produits du sol de la région du Bas-Rhône, la spécialisation de certains d'entre eux et leur juxtaposition attestent sans aucun doute aujourd'hui l'existence d'une évolution rurale bien marquée.

Le sol, dont la productivité est maintenue par l'emploi à haute dose d'engrais, *l'eau* fournie en abondance par les canaux d'irrigation et le *soleil*, qui répand ses calories sans restriction dans le midi, sont donc les trois conditions primordiales d'une bonne et abondante production agricole dont bénéficie la région du Bas-Rhône.

Nous y trouverons des produits de qualité, fruits, primeurs, vins de cru, etc. : vins des Côtes-du-Rhône (notamment ceux de Lirac, Laudun, Tavel, Châteauneuf-du-Pape et Rasteau), cerises de Remoulins, chasselas du Thor et de Pujaut, asperges de Lauris et de Roquemaure, truffes du Tricastin, pêches de la vallée du Rhône et de celle de la Durance, fraises de Carpentras, olives de Nyons, abricots de Suzette et du Barroux, melons de Cavaillon, primeurs de Châteaurenard et d'Avignon, lavande du Ventoux, foin de Montfavet et de Crau, riz de Camargue, graines de plantes potagères, fourragères et florales de Saint-Rémy.

Au milieu de cette merveilleuse activité, Avignon est à la fois un centre économique local et un marché régional ; sa fonction commerciale, conséquence de la rationalisation de la production agricole, est soutenue par une activité industrielle orientée également vers l'Agriculture (engrais, produits chimiques agricoles, fabrique de conserves de fruits et de tomates, confiserie, biscuiterie, minoterie, emballage, distillerie, caves, coopératives, etc...)

C'est à Avignon, le jour de la bourse, chaque samedi, que se négocient les céréales des « pays » du Bas-Rhône, depuis le Tricastin jusqu'au pays d'Arles. Il en est de même pour les fourrages de la Crau et de Montfavet et les graines de semences, une des grandes spécialités agricoles de la Provence et du Comtat, la graine de luzerne notamment.

D'autre part, on achète à Avignon tout ce dont la campagne a besoin : des bêtes, des engrais, des produits anticryptogamiques, des plants de vigne, des arbres fruitiers, des machines agricoles ; des automobiles, etc... On vient en Avignon. Les bourgs, où se maintiennent encore des marchés locaux de vente, n'ont plus de commerce de détail ; la grande foire de Beaucaire elle-même a disparu, mais Avignon possède depuis vingt-cinq ans, sa foire-exposition de printemps.

Ce rôle de capitale que joue de plus en plus Avignon est dû, non seulement à la multiplicité, à l'importance et à la qualité de la production agricole du Bas-Rhône, mais encore à la situation centrale qu'occupe cette cité au milieu de sa province. Il est, en effet, nécessaire qu'un tel centre puisse communiquer facilement avec les autres régions françaises. Les réseaux routier et ferroviaire sont ici extrêmement importants.

Avignon est située, en effet, à la fourche d'un grand Y renversé dont la branche unique représente la vallée du Rhône, tandis qu'une des branches de la fourche se dirige vers le Bas-Languedoc et le Roussillon et l'autre vers Aix, Marseille et la Côte-d'Azur. (Voir la carte p. 8).

* * *

— Mais si l'Agriculture bas-rhodanienne évolue maintenant vers des données modernes tant au point de vue technique qu'économique, on peut dire qu'au cours des siècles, malgré l'heureuse influence romaine, ainsi que celle des Papes, cette même agriculture a subi depuis bien des vicissitudes.

— Avignon a souffert du retour des Papes à Rome (1377), mais le rang qu'elle avait acquis et les traditions créées depuis près de cent ans, lui permirent de faire encore bonne figure. Cependant, l'élan était brisé et *Avignon restait en dehors de la France*. Si certains rois, comme FRANÇOIS I^{er}, se montrèrent très favorables à la cité papale, en accordant à ses habitants le privilège de « Regnicoles » qui leur assurait en France le même traitement que les sujets du Roi, la rivalité avec les autres villes rhodaniennes allait se faire plus âpre encore avec le développement de l'industrie de la soie en France.

Lyon, qui travaille la soie et qui est restée, depuis le xvi^e siècle, à la place de la cité papale, le grand centre de ce marché, veut à tout prix éclipser Avignon. Elle y réussit.

D'autre part, devenue étape vers l'Italie depuis que les guerres de Lombardie avaient rouvert les routes des Alpes, Lyon désire être le seul marché d'échange avec les pays transalpins.

Et pourtant, grâce à Olivier de SERRE, seigneur du Pradel (Ardèche) et grand agronome, le mûrier, « l'arbre d'or », comme on l'appelait à cette époque, se rencontre encore dans le Bas-Vivarais, dans le Languedoc oriental, le Tricastin, le Comtat et la Haute-Provence ; Avignon était donc bien en France au centre de la région séricicole ! Mais Lyon, protégée par LOUIS XIV, s'empara de la place et reste aujourd'hui la ville des soyeux.

Nîmes redoute également Avignon qui détrône ses produits (laine et soie), non seulement sur la foire de Beaucaire, mais aussi en Languedoc, en Roussillon et même jusqu'en Espagne.

Les droits de douane sur les produits avignonnais (soie, velours, toiles peintes) s'élevèrent progressivement. COLBERT arriva ainsi à fermer tous les débouchés dans le royaume et à isoler Avignon qui n'eut alors d'autres ressources que... la contrebande.

Celle-ci s'exerça sur le sel et sur les livres.

Avignon, non loins des salines de Fos et de Camargue, a toujours été un centre de redistribution du sel vers l'intérieur : le pays de Sault (la route de la gabelle y conduit encore), les Baronnie, etc... Ayant obtenu le privilège d'avoir du sel exempt d'impôts, Avignon importe des salines royales de la côte méditerranéenne des quantités bien plus grandes que les besoins de sa consommation et revend alors du sel en contrebande.

La papeterie était très active depuis le XIV^e siècle on comptait à Avignon plus de vingt imprimeurs-libraires faisant le commerce de la contrebande. (GEORGE.)

— Le XVIII^e siècle apporte dans l'histoire agricole du Comtat-Venaissin, vivant jusqu'alors en économie fermée, un événement important : la réussite de la culture de la garance qui ouvre, pour la région, du Bas-Rhône, après l'interdiction par LOUIS XV (*) de la culture du tabac dans le Comtat, une nouvelle ère de prospérité en permettant de nouveau à la cité papale d'étendre son influence, librement cette fois, sur les pays voisins.

Avignon et sa province, durement éprouvées par le très rude hiver de 1709 et par la terrible peste de 1721, reprennent petit à petit leur éclat d'antan.

Si Aix-en-Provence demeure alors une ville universitaire et de magistrature, Avignon doit sa bourgeoisie à son activité économique et retient l'aristocratie grâce à l'attrait de la vie large et libre qu'on y mène.

L'influence de l'Eglise a toujours été également très puissante ; elle s'est exercée, depuis l'époque romaine, sans qu'aucune limite territoriale d'Etats ne comptât pour elle. En effet, le diocèse d'Avignon s'étendait au-delà du Rhône, sur la rive droite, jusqu'à Saint-Laurent-des-Arbres, Lirac, Tavel et Rochefort, et dépassait également la Durance jusqu'au pied des Alpilles.

L'Eglise avait compris que le Rhône n'était pas une barrière

(*) Concordat de 1734.



Paysage provençal à Théziers



Sansouïres en Camargue

et que la région avignonnaise ci-dessus décrite était le noyau de cette zone du Bas-Rhône, dont nous venons de donner les principales caractéristiques géographiques.

Rappelons que c'est le pape Jean XXII (et non le pape Boniface imaginé par Alphonse Daudet dans son délicieux récit de la Mule du Pape) qui créa le vignoble de Châteauneuf-Calcernier, devenu depuis Châteauneuf-du-Pape. C'est seulement vers 1750, que ce vin commença à être connu et son exportation vers Paris et l'Etranger débuta un peu avant la Révolution. Il s'agissait alors de l'unique cru de « La Nerthe ».

Nous arrivons au XIX^e siècle, le siècle prestigieux de l'histoire de France. C'est, en effet, après l'épopée napoléonienne, l'époque où le génie et l'art français ont atteint leur apogée, grâce à une pléiade d'hommes de lettres, de sciences, et d'artistes de talent.

Que sont devenus Avignon et le Comtat-Venaissin durant cette brillante époque ? Il semble qu'ils n'aient pas pu profiter de leur récente liberté pour se relever et s'épanouir.

En effet, au point de vue agricole et économique, la région du Bas-Rhône a traversé, au XIX^e siècle, trois grandes crises ; crise de la garance, de la soie et du phylloxéra : chacune d'elle a frappé durement la région, mais grâce au labeur et à l'ingéniosité du paysan méridional, grâce aussi aux travaux de savants agronomes, on a toujours trouvé un remède aux situations les plus désespérées.

Tous les essais cependant n'ont pas été heureux et certaines cultures de remplacement n'ont pu réussir, celle de la ramie, par exemple, culture industrielle qui a été tentée dans la région d'Entraigues (Vaucluse).

La garance a été introduite en 1763 dans le Comtat-Venaissin par un émigré persan, ALTHEN. Les limons fins et profonds de la plaine comtadine convenaient très bien au développement de la racine de cette plante d'où l'on extrayait cette couleur rouge qui a rendu si célèbres les pantalons de nos fantassins des guerres du Second Empire et de la III^e République (*).

La découverte de l'alizarine de synthèse ruina la culture de la garance dans la région du Bas-Rhône. D'autres cultures spéciales comme celle du Safran disparaissent de la région vers 1870. A peu près à la même époque, le vignoble français traversa une crise terrible, touché à mort par un petit insecte implacable le phylloxéra.

La région avignonnaise a eu le triste privilège d'être le berceau de cette maladie en France. D'après BARRAL, la première tache phylloxérique a été observée, en effet, en 1865, à Roquemaure (Gard). Sa propagation fut très rapide et, en 1870, la presque totalité des vignes de la Provence et du Languedoc sont atteintes. C'est la ruine pour tous les vigneron. L'arrondissement d'Avignon possédait 5.537 hectares de vignes en 1865 ; dix ans plus tard on en recensait que 425 hectares seulement.

(*) On cultivait en 1854 dans le Comtat, 32.000 tonnes de garance, soit la moitié de la production mondiale.

Enfin, une troisième crise, mais d'évolution plus lente, fut celle qui toucha notre sériciculture à partir du milieu du XIX^e siècle. Les maladies du vers à soie (pébrine et flacherie) en furent la première cause.

Les immortelles découvertes de PASTEUR, venu spécialement à Alès, sur l'invitation pressante de son maître le grand chimiste J.-B. DUMAS, sauvèrent momentanément la sériciculture. Mais la chute des prix des cocons et la rareté de plus en plus grande de la main-d'œuvre familiale, si nécessaire à ce genre d'exploitation, furent les nouvelles causes de la régression de la culture du mûrier et de l'élevage du ver à soie.

Le paysan se raidit devant ces crises. Il ne veut, il ne peut abandonner la vigne déjà célèbre par ses vins de la « Côte-du-Rhône ». Il se prête alors, sans trop de difficultés, à suivre l'exemple d'expérimentateurs hardis.

C'est ainsi qu'en 1868, le docteur SEIGLE applique le premier, au Thor, la submersion du vignoble pour lutter contre le phylloxéra.

L'immunité des vignes plantées en terrains sableux fut reconnue par un comtadin également, M. BAYLE, de Sablet. L'emploi du sulfure de carbone, au moyen d'un pal, préconisé par THENARD en 1892, ne fut pas suffisant pour enrayer le mal.

Puis arriva, enfin, après les travaux de FOEX, de PLANCHON et de VIALA, l'introduction des plants américains réfractaires au phylloxéra ; la vigne fut sauvée une première fois. Elle allait l'être une deuxième fois, quelques années plus tard, par MILLARDET, qui découvrit l'action efficace des bouillies cupriques contre le mildiou. « La France fut le grand laboratoire de modernisation de « la Viticulture et le Monde entier a profité des travaux de notre « pays. » (CHEVALIER 41.)

— D'autre part, les nombreux canaux d'irrigation dont nous avons déjà parlé et qui sillonnent les basses plaines du Rhône et de la Durance, étaient tout indiqués pour permettre l'extension des cultures maraîchères cantonnées jusqu'alors autour des centres urbains. (Les « orthollas » dont font mention les chartes des X^e et XI^e siècles.)

Certains de ces canaux d'arrosage sont très anciens ; toutefois, il faut arriver au XVII^e siècle pour que l'on aborde réellement des travaux d'intérêt général. Le nom d'Adam de CRAPONNE restera attaché à l'une des plus grandes réalisations de l'époque, celui de l'irrigation et du colmatage d'une partie de la Crau, alors complètement désertique (le « campus lapideus » de Strabon) par les eaux limoneuses de la Durance.

Le siècle dernier a vu s'achever ces grands canaux régionaux comme celui des Alpilles, celui de Pierrelatte (le seul qui prend de l'eau au Rhône) et enfin celui de Carpentras (*).

(*) Le nouvel aménagement du Rhône (Donzère-Mondragon) prévoit une extension du périmètre irrigable dans la région de Pierrelatte et Orange. Enfin un nouveau projet, en basse Durance permettra de régulariser le débit de cette rivière et d'assurer une quantité d'eau suffisante aux agriculteurs qui en manquent souvent en été.

Les crises viticoles, la ruine de la culture de la garance, les maladies du ver à soie, la dépréciation de l'huile d'olive et la décadence de la culture du blé dans le midi ont joué, sans aucun doute, un rôle primordial dans le développement que prirent, surtout après la guerre de 1914-1918, les cultures maraîchères et fruitières dans toutes ces plaines irriguées. Mais cette économie primeuriste très spécialisée, qui a enrichi ces régions et qui a modifié même jusqu'à la structure sociale de la paysannerie rhodanienne, était à son tour, à la veille de la dernière guerre, menacée de faillite par suite de la mévente des produits et de la crise financière mondiale.

Ainsi durant ces cent dernières années, l'instabilité de la situation agricole et économique du midi de la France a été très grande.

Cependant la dernière guerre a produit de nouveau un profond bouleversement. La faim menace le monde et la France doit au sein des Nations Unies, contribuer à faire reculer le spectre de la famine. Mais, pour ne pas handicaper son Agriculture de forme essentiellement intensive, elle doit, grâce à son milieu naturel, poursuivre une politique agronomique de Qualité.

§ 3. LES FACTEURS DE LA PRODUCTION AGRICOLE

MILIEUX NATUREL ET HUMAIN

LEUR IMPORTANCE RELATIVE

Les milieux naturel et humain d'une région déterminée conditionnent sa production agricole.

Le milieu naturel est défini par le trinôme : Sol, Climat, Exposition.

C'est donc un problème à trois inconnues et son étude en est complexe. La deuxième partie de cet exposé est consacrée à la contribution que nous avons apportée à le résoudre pour la région du Bas-Rhône.

Se sentant esclave de ce « milieu » le Paysan doit se libérer de son emprise en cherchant à le connaître, en s'adaptant à lui et en le modifiant si faire se peut.

En effet, il ne faut pas oublier que l'Homme, penché depuis les premiers âges sur la terre qui l'a vu naître, a toujours, tenté de l'amender, de l'améliorer.

Mais jusqu'à ce jour, opérant par tâtonnements, tout en observant, l'Agriculteur a mis des siècles pour posséder une connaissance de ses champs qui, pour être subjective et parfois confuse, n'en constitue pas moins le fondement de son art.

En principe, le climat et la morphologie sont peu modifiables par l'Homme. Pourtant dans le Midi de la France, il a pu atténuer sensiblement les effets néfastes de certains facteurs climatiques par l'irrigation, le drainage, les cultures abritées, etc... Il a pu même

modifier la nature de certains sols improductifs par le colmatage, l'assainissement et l'apport d'amendements (Crau, région de Carpentras).

Le paysan a été aidé dans cette tâche, dès la fin du ^{xix}^e siècle, par les techniciens du Ministère de l'Agriculture et par l'exemple d'une classe d'élite de praticiens avertis. Toutefois, il n'a pas encore été suffisamment stimulé, sinon les progrès eurent été certainement plus grands. Il est intéressant de suivre l'évolution de ce milieu rural qui se reflète dans celle de la production agricole.

— Depuis les temps les plus reculés de l'Histoire, ce sont des terriens venus des Alpes ou à travers celles-ci, qui ont peuplé la basse vallée du Rhône. La façade maritime de cette région basse et alors marécageuse a toujours été inhospitalière.

Aux ^{xiv}^e et ^{xv}^e siècle l'immigration a apporté trois éléments de peuplement qui, d'ailleurs se complétèrent :

1^o Une classe italienne aisée qui s'est assez rapidement transformée en aristocratie foncière ;

2^o Une masse de travailleurs alpins et piémontais ;

3^o Des hommes d'affaires israélites (GEORGE) (72), (GORRICHON) (78).

De nos jours, ce sont encore des travailleurs montagnards venus des Alpes et des Cévennes, ce sont aussi des Italiens du Nord, qui, attirés par les riches régions que baigne le Rhône viennent s'installer soit définitivement dans les fermes, soit s'engager pour la saison, jadis pour les moissons (*), aujourd'hui encore pour les vendanges.

La persistance des courants de peuplement depuis l'époque préhistorique est frappante (GEORGE) (72).

Il n'est donc pas étonnant de retrouver partout dans la région du Bas-Rhône, déjà si riche en monuments romains, l'influence italienne. Elle se manifeste non seulement dans les styles architecturaux, mais encore dans le caractère même des habitants, dans leur genre de vie et dans les modes de cultures (notamment dans les zones montagneuses).

Héritier de ces traditions alpestres et latines, habitué jusqu'alors à des siècles de vie difficile, le paysan du Comtat-Venaissin et de la Haute-Provence, travailleur et sociable, reste malgré tout foncièrement individualiste. Ayant toujours vécu pour lui, il est donc resté longtemps réfractaire au mouvement syndical. Mais, ces dernières années, on observe une nette transformation de l'esprit rural, en particulier chez l'agriculteur spécialisé. Le viticulteur d'abord, le céréaliculteur et, enfin, depuis la dernière guerre, l'arboriculteur, comprennent devant certaines nécessités technique et économique,

(*) Nous ne sommes plus au temps, si cher à MISTRAL, où, dans les pays du Bas-Rhône, les moissonneurs bas-alpins (les gavots) venaient en nombre à Arles se louer sur la place aux Hommes et suivre quelques jours plus tard, la faux à la main, le « Capoulié » qui leur ouvrait la voie des grandes emblavures.

l'essence même de la coopération : la mise à la disposition du petit exploitant de la matière première et des moyens de transformation dont seule pouvait disposer jusqu'alors la grande exploitation.

Si l'on examine, d'autre part, l'évolution rurale à l'intérieur même de la région du Bas-Rhône, on constate, suivant la loi générale, un exode de la population des champs vers la ville ou les gros bourgs. En moins de cinquante ans certaines communes ont perdu la moitié de leurs habitants, mais à côté de ce mouvement on observe une tendance à la dispersion de l'habitat.

La zone de l'habitat aggloméré est située en montagne et sur les plateaux calcaires (garrigue nîmoise, plateaux de la basse Ardèche, Monts de Vaucluse et pentes du Ventoux), tandis que les plaines (vallées du Rhône et de ses affluents, Crau, Camargue) constituent une excellente région de dispersion.

On trouve encore dans ces pays les quelques grandes propriétés rurales du Bas-Rhône ; c'est l'habitat ancien dispersé, mas et bastides, parfois fortifiés correspondant aux grands domaines seigneuriaux ou abbaciaux de l'ancien régime, dont les plus anciens sont les héritiers directs des « villas romaines ».

Quant à l'habitat dispersé récent, dû à un phénomène démographique, il date surtout du siècle dernier ; il est dû à l'abandon du village perché sur une colline, d'accès difficile, et à l'apparition dans les plaines devenues fertiles, de cultures intensives et rémunératrices.

Quelle est l'influence de ce milieu humain sur le milieu naturel ? Elle a été très nette dans cette région méditerranéenne de vieille civilisation et l'on s'aperçoit actuellement qu'elle a eu un effet heureux sur la conservation du patrimoine rural.

Une simple comparaison avec les pays neufs de l'Amérique (Canada, Etats-Unis, Brésil) et de l'Afrique du Sud, nous le montrera. Nous y reviendrons d'ailleurs plus longuement dans un chapitre ultérieur. (Problème méditerranéen de la conservation des sols.)

La philosophie paysanne française et notamment celle de l'agriculteur méridional, où est encore si fortement ancrée cette notion romaine du « pater familias », a pour base une conception héréditaire de la gestion du domaine agricole. L'agriculteur gère non en spéculateur, mais en bon père de famille (formule classique de nos baux ruraux). Il a appris que le sol est un capital précieux qui doit être sans cesse entretenu, ou reconstitué, afin de le transmettre intact à ses descendants. Aussi aime-t-il sa terre, et vit-il en étroite union avec elle ; les produits de son domaine sont toujours les meilleurs, d'où le maintien de cet esprit individualiste qui jusqu'à présent a mis un frein à la pénétration dans les masses paysannes du progrès technique en agriculture.

Dans le Nouveau Monde et en Afrique du Sud, voir même en Australie, les agriculteurs sont des entrepreneurs de culture, avec souvent une spécialisation à outrance (par exemple, le producteur de blé au Canada n'a ni bétail, ni potager et habite plus souvent la ville voisine que sa ferme). Ils ne sont pas paysans de naissance ; de

ce fait, de nombreuses notions qui sont innées chez tous les cultivateurs du Vieux Monde, leurs échappent, notamment les principes fondamentaux de la conservation du sol et du maintien de sa fertilité.

Pour l'Américain, une ferme est une affaire, comme une mine ou une industrie. Ce qui les intéresse uniquement c'est la production immédiate ; ils apportent donc le maximum d'effort avec des moyens mécaniques perfectionnés dès la première année, sans se soucier de ce que deviendra leur domaine dans l'avenir, quitte à l'abandonner s'il devient improductif. Ils ne s'occupent pas des générations qui suivent, méthode qui permet d'apprécier certes les techniques nouvelles, mais qui n'est pas sans périls pour la conservation du sol.

— Nous voici donc en présence de deux philosophies paysannes bien différentes. L'une, qu'A. SIEGFRIED appelle « La méthode technique de la machine », réaliste jusqu'à l'imprévoyance, l'autre « La méthode de tradition paysanne », empreinte de sagesse et mettant en valeur la richesse même de notre vieille civilisation.

Il est incontestable qu'en France, nous avons une certaine conception des rapports de l'homme avec son milieu naturel ; elle représente indiscutablement une « culture ». Et, il nous faut voir dans cette « culture », ce don d'observation de nos paysans et non les méthodes empiriques auxquelles certains peuvent avoir recours.

L'empirisme supprime en effet l'idée, l'hypothèse, toutes deux indispensables dans la connaissance expérimentale, base de l'Agronomie.

Nous faut-il donc abandonner ces conceptions anciennes et bien équilibrées et imiter servilement les Américains ?

Nous ne le croyons pas ; il y a des limites notamment à l'extension de la monoculture, de la mécanisation, parce qu'on méconnaît alors quelque chose de profond qu'est la Vie, la vie du sol, celle des animaux et des plantes producteurs d'humus.

S'il nous faut aujourd'hui produire mieux et moins cher, la motorisation nous le permettra sans aucun doute, mais le paysan français qui est un sage, ne peut-il harmoniser ces deux conceptions et adapter les progrès de la technique moderne à son expérience séculaire ?

Nous en sommes persuadés, s'ils veulent bien suivre l'exemple remarquable de cet ingénieur agronome qui, aux portes d'Avignon dans un domaine de 25 hectares de cultures intensives, entièrement motorisé, sans un seul animal, a su maintenir la structure de son sol et sa fertilité, grâce à des techniques nouvelles, parfois audacieuses dont nous reparlerons.

DEUXIÈME PARTIE

Le Milieu naturel de la Région du Bas-Rhône

ÉTUDE DES PRINCIPAUX FACTEURS ET LEUR IMPORTANCE SUR LA PRODUCTION AGRICOLE

Nous avons vu que les trois facteurs de base du milieu naturel sont le *Sol*, le *Climat* et l'*Exposition*.

Nous allons, au cours de ce chapitre entreprendre leur étude, qui, comme tous les problèmes biologiques a recours à différentes disciplines scientifiques.

Leur importance sur la production agricole d'une région bien déterminée, comme celle du Bas-Rhône, est très grande ; l'étude du Milieu naturel permet, en effet, de comprendre les causes qui peuvent introduire tant de variétés dans les aptitudes culturales du sol. Cette diversité, loin d'être l'effet du hasard obéit à des règles déterminées qu'étudie l'Agronomie « Avant de commander à la Nature, il faut obéir à ses lois ». (BACON.)

CHAPITRE PREMIER

LES CLIMATS

§ 1. LES CARACTÉRISTIQUES DES CLIMATS DU BAS-RHONE

Le climat est certainement l'un des facteurs de base le plus important réglant la distribution et l'évolution des cultures dans le Midi méditerranéen.

Il ne faut pas oublier, en effet, que le problème de l'eau est primordial dans cette région et que celui-ci est une conséquence du climat méditerranéen. Non seulement on doit s'intéresser au climat régional (*) ou macro-climat (dans la région du Bas-Rhône il s'agit du climat méditerranéen français, à dominance de mistral), mais encore aux climats locaux appelés *méso-climat* et dus aux influences spéciales de la mer ou de la montagne voisines, et, enfin, parfois, à certains climats très restreints ou *micro-climats*.

L'agriculteur doit donc connaître les caractéristiques de ces climats avant d'entreprendre toute culture, faute de quoi, il risque d'avoir de sérieux déboires. Il ne doit pas oublier les effets souvent néfastes de certains facteurs climatiques (vents violents, sécheresse estivale, pluies brusques et abondantes d'automne notamment) et il doit se préoccuper de remédier à leur excès dans la mesure du possible. Nous reviendrons sur ce sujet un peu plus loin (voir page 38). Enfin, la vie des plantes comporte des périodes critiques. De là l'intérêt qui s'attache à établir la structure du climat en fonction du temps et à la rapprocher du rythme végétatif.

La Climatologie agricole se sépare donc de plus en plus de la Météorologie et prend nettement un caractère écologique.

(*) Ce climat régional fait lui-même partie d'un des neuf grands climats mondiaux (classification du point de vue phytogéographique d'EMBERGER (62). Cet auteur distingue, de par le monde, six types de climats méditerranéens : de haute montagne, saharien, aride, semi-aride, subhumide et humide. La zone méditerranéenne française comprendrait ces trois derniers types. Il reste entendu que tout climat méditerranéen mondial (il en existe en Australie comme en Californie) est caractérisé par des saisons thermiques très tranchées, avec étés secs et pluies concentrées sur la saison froide.

La région du Bas-Rhône est caractérisée par l'irrégularité des facteurs climatiques surtout en ce qui concerne les pluies, ce qui a pour conséquence de donner aux fleuves et aux rivières une allure nettement torrentielle (inondations, ravinement).

Le macro-climat actuel que nous allons étudier, peut subir dans la basse vallée du Rhône, en raison justement de son caractère d'irrégularité du régime des pluies et du vent, des variations sensibles dues aux conditions de relief (exposition et altitude). On aura affaire alors à ces méso-Climats locaux dont nous donnerons les principales caractéristiques.

LES VENTS — LE RÔLE IMPORTANT DU MISTRAL

Si la lumière éblouissante et la limpidité de l'atmosphère qui égalent en splendeur celles de l'Italie ou de la Grèce, représentent un des caractères de ces régions méditerranéennes, un autre plus rhodanien que méridional, il est vrai, vient apporter à notre Midi, une réputation souvent désagréable, c'est la violence des vents, notamment du mistral. Il domine ce climat — aussi distingue-t-on un climat méditerranéen avec prédominance de mistral (basse vallée du Rhône) et un climat sans prédominance de ce vent (Côte d'Azur).

Car, contrairement à l'opinion, ce n'est pas tant les montagnes alpêtres le long de cette côte qui l'arrêtent, que les conditions météorologiques qui sont telles, qu'il ne peut pas souffler sur la Riviera, ainsi que l'a si bien mis en évidence BENEVENT (10).

En effet, le mistral, ce vent froid et sec, parfois très violent qui descend le couloir rhodanien se produit chaque fois qu'existent de basses pressions sur le Golfe de Gênes (minimum ligurien) tandis que l'anti-cyclone des Açores s'avance de l'Espagne vers la Suisse à travers la France centrale. Cette dépression sur la Méditerranée provoque sur son *côté occidental*, un vent du nord, nord-ouest, le mistral qui s'engouffre dans la dépression rhodanienne, et sur son *côté oriental* des vents d'est et du nord-est : c'est le « Grégal » de la région niçoise, mais il est moins violent que le mistral. Celui-ci ne souffle à Nice que dans le cas très rare où la dépression ligurienne gagne la plaine du Pô.

Dans la région du Bas-Rhône, le mistral souffle durant les 3/5^e de l'année. Sa vitesse est plus grande en hiver par suite des écarts de température entre la vallée du Rhône et la mer. Durant cette saison, en effet, la Méditerranée plus tiède que les terres, attire une espèce de mousson venant renforcer le mistral. En été, au contraire, la brise de mer le freine (GAZAUD (70)). Le maximum de fréquence est donc de décembre à mars. L'ouragan du 28 février 1929, où il a atteint la vitesse de 110 kilomètres à l'heure, a causé des dégâts considérables. Ses effets sont des plus importants et conditionnent

pour ainsi dire toute la vie de ces régions. S'il assainit, dit-on, la vallée du Rhône, car il souffle toujours après, la pluie, il oblige le paysan à abriter son mas, à charger sa toiture, à cultiver derrière les haies de cyprès et de cannes ; sur mer, il provoque des tempêtes terribles ; sur terre, « son haleine puissante semble aplanir, agrandir » le paysage. Tout se courbe devant lui, les moindres arbustes « gardent l'empreinte de son passage, en restant tordus, couchés vers » le sud dans l'attitude d'une fuite perpétuelle. » (A. DAUDET.) (*)

Le mistral souffle toujours par rafales et par temps clair ; il accroît la limpidité de l'atmosphère et augmente le rayonnement nocturne. Le mistral abaisse donc la température, mais les fortes gelées ne se produisent que sitôt après sa chute ; et c'est ce que craignent le plus en avril, les arboriculteurs et les viticulteurs.

Ce brusque abaissement de la température, si néfaste au printemps et à l'automne (arrêt de la vinification), n'est nullement en contradiction avec la nature méditerranéenne de ce climat, mais au contraire un de ses aspects bien caractéristiques. On peut dire que cette influence perfide est un des traits les moins connus du climat provençal, « un des plus capricieux qui soit au monde. » (SION) (141)

Enfin, *le mistral joue un rôle important* en tant qu'agent dynamique externe dans la genèse des sols (usure des roches et transports éoliens).

Nous observons ces phénomènes en de nombreux endroits de la région du Bas-Rhône où dominant les roches tendres (grès, sables, mollasse gréseuse et mollasse calcaire). Il y a enlèvement des particules sableuses de la roche et l'érosion s'accroît de jour en jour. Ce sable est entraîné par le vent et vient attaquer le calcaire friable (aux Baux, par exemple) en creusant de véritables rainures, des cavités et des alvéoles parfois d'un fort joli effet. Les dépôts éoliens qui, en raison du relief, se sont accumulés jadis en certains endroits (lœss), parfois en couches assez épaisses, se forment encore de nos jours (accumulation des sables du Coulon dans les grottes au flanc nord du Lubéron) et viennent également modifier et compliquer le mécanisme de la genèse de certains sols. D'ailleurs nous pouvons nous rendre compte de l'importance du transport par le vent et du dépôt de ces éléments, en constatant que la plupart des monuments romains datant de près de 2.000 ans, de Nîmes, d'Arles, de Vaison, de Saint-Rémy, etc..., se trouvent en contre-bas d'un mètre par rapport au niveau du sol actuel (ce qui correspond seulement à des apports éoliens de 1/2 mm. par an).

Si le mistral est de beaucoup le vent le plus important de nos régions méridionales, nous ne devons tout de même pas passer sous silence ceux qui soufflent d'une autre direction. Le « marin », vent du sud, sud-est, ainsi appelé car il vient de la Méditerranée, souffle parfois avec violence durant les quelques heures qui précèdent une importante chute de pluie. Ce vent se fait nettement plus sentir sur

(*) Extrait des Lettres de « Mon Moulin ». La Camargue....

le littoral, jusqu'à Arles. Il est beaucoup plus connu du côté de Narbonne dans le Bas-Languedoc.

La bise de l'est se lève certains jours d'hiver ; quant au vent de l'ouest, celui qui est si fréquent sur toutes nos côtes de l'Atlantique et de la Manche, on peut dire qu'il est presque inconnu sur les bords de la Méditerranée.

LES PLUIES — LEUR RÉPARTITION IRRÉGULIÈRE

Les précipitations sont extrêmement irrégulières et tombent par grosses averses. La basse vallée du Rhône, comme tous les pays méditerranéens d'ailleurs, ne connaît pas les pluies fines, les « crachins ».

On observe deux maxima de pluies, le principal au début de l'automne, l'autre au printemps, séparés par deux périodes de sécheresse (janvier-février et juin à septembre).

A la fin de l'hiver, le continent se réchauffe ; les dépressions qui errent en Méditerranée occidentale se rapprochent du littoral, les pluies gagnent les côtes et la vallée du Rhône.

Au début de l'automne, on aura affaire surtout à des averses de caractère orageux. Les cyclones océaniques émettent des pointes jusque dans le golfe du Lion attirant à la fois le mistral et le marin ; à leur lieu de rencontre se forme une ligne de grains avec accompagnement de phénomènes électriques intenses (orages à grêle).

Les moyennes pluviométriques n'indiquent pas grand-chose dans un pays où les averses automnales se succèdent parfois à quelques jours d'intervalle et donnent des chutes de pluies dépassant très souvent 100 mm. en quelques heures. Les orages de 1924, de 1933 et de 1938 ont fourni des chutes de pluies impressionnantes et les dégâts causés furent considérables dans le Gard et le Vaucluse. Durant ces périodes orageuses, les rivières montent rapidement en quelques heures à peine ; le Vidourle, le Gard, la Cèze, l'Ardèche, sortent de leur lit et les eaux du Rhône, vite gonflées à leur tour, montent souvent à raison de 2 cm. à l'heure.

Aucun chiffre de précipitation fourni par un poste météorologique ne saurait donner une idée de la réalité, car d'un point à un autre, il y a des différences énormes, parfois incroyables, de chutes de pluie. En septembre 1933, on a enregistré pour une période de trois jours, plus de 200 mm. à Nîmes, 220 mm. à Uzès et 266 mm. à Alès (chiffres signalés par (GEORGE) (72).

Durant la décade 1925-35, la moyenne actuelle, à Avignon (poste de la Station Agronomique) a été de 760 mm. avec des écarts allant de 460 en 1929 à 957 mm. en 1933. En 1948 on a dépassé 1.000 mm. (Voir le tableau page 37).

Mais comme le dit DEMOLON (48) -- « un facteur climatique est « insuffisamment défini par sa moyenne ou normale ; celle-ci n'est

« qu'un concept : ce qu'il importe de connaître, c'est l'*amplitude des écarts* sur la normale et leur fréquence. » — D'ailleurs, ainsi que « l'indique CHAPTAL (38) « ce sont bien, en effet, les courbes des écarts des sommes des pluies et des températures qui donnent des indications sur les conditions phytoclimatiques. »

La sécheresse d'hiver a moins d'extension régionale que celle d'été. Les contrastes thermiques entre les hauteurs et les plaines, entre la mer et les côtes, jouent beaucoup plus que pendant les mois chauds ; aussi la zone maritime de la Camargue et d'Arles est-elle légèrement plus pluvieuse en hiver.

La sécheresse d'été, interrompue par les premiers orages à fin août est longue. Il n'est pas rare d'avoir à cette époque deux mois entiers sans une goutte d'eau. En 1928, la région d'Avignon n'a pas eu de pluies du 15 juin au 25 août. En 1949 de fin mai à fin septembre on n'a pas eu de pluies pour ainsi dire. D'ailleurs, ce caractère d'aridité s'accroît au fur et à mesure que nous parcourons le bassin méditerranéen, la sécheresse estivale est plus accentuée dans la zone sud du Bas-Rhône et dure près de quatre mois en Afrique du Nord et près de six mois en Egypte.

De MARTONNE (106) considère l'été méditerranéen comme une extension éphémère du climat désertique sous l'influence de la remontée de l'anticyclone des Açores sur le golfe de Gascogne pendant la saison chaude.

Deux techniques agricoles sont nées des rigueurs du climat méditerranéen et notamment de cet excès de sécheresse. La première est l'*irrigation*, dont nous allons parler, qui a complètement transformé le mode de vie agricole dans les plaines et la deuxième est la *transhumance* des moutons, forme dégradée du vieux nomadisme méditerranéen, rythme annuel très ancien et qui a quelque chose d'imposant dans sa simplicité et sa logique.

Les températures.

La région du Bas-Rhône ne connaît pas les excès du climat continental quoique le mistral ait vite fait d'opérer de brusques variations de température. La température moyenne augmente avec la latitude jusqu'à Avignon, limite septentrionale de l'influence de la mer dans la vallée du Rhône.

La zone maritime a effectivement un hiver moins frais et un été moins chaud, quoique la Méditerranée soit loin d'exercer, dans l'ensemble, l'influence adoucissante de l'Océan Atlantique. L'isotherme de $+ 5^{\circ}$ traverse toute la basse Provence. L'été est une saison sèche et chaude. Les maxima de température dépassent couramment $+ 35^{\circ}$.

Les indices climatiques.

Indice d'aridité. — Cette notion établie par de MARTONNE (106) combine les données pluviométriques et thermométriques ; elle

présente un certain intérêt quand il s'agit notamment de l'adaptation d'une plante à son milieu naturel.

Cet indice d'aridité s'exprime au moyen de la formule suivante :

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

P représente le total des pluies et T la température moyenne. Quand il s'agit d'un indice mensuel — et dans nos régions celui de juillet est le plus intéressant à connaître — on multiplie par 12.

Du point de vue géographique, de MARTONNE met bien en évidence l'importance de cette constante. En effet, écrit cet auteur :

« Température et précipitations sont inséparables ; la même « quantité de pluie n'a pas la même signification en hiver où l'évaporation est réduite et en été où elle est exaltée ; dans un été « tempéré, comme en Bretagne et dans un été à moyenne dépassant « 20° comme en Provence. »

La région du Bas-Rhône est une zone à indice d'aridité faible. C'est entre Marseille et Bandol que l'indice atteint pour la France le chiffre le plus bas : 4.

Il y a une relation étroite entre ce facteur climatique et l'adaptation de certaines cultures. C'est ainsi que la vigne, qui est surtout une plante du bassin méditerranéen, se plaît, non seulement dans le Midi, dans son milieu constitué par des terres peu fertiles de coteaux (sols peu profonds et perméables) sous un climat semi-aride, mais encore elle réussit en plaine dans des terres plus fécondes parce que justement des conditions climatiques particulières le permettent ; celles-ci sont notamment mises en évidence par un indice d'aridité (de juillet) peu élevé (4 à 20).

Mais au fur et à mesure que la vigne passe dans une zone où le chiffre de l'indice d'aridité s'accroît, elle se cantonne de plus en plus sur les coteaux, dans les sols bien perméables et aux expositions les plus chaudes. Ce fait s'observe nettement en remontant la vallée du Rhône. (Voir 3^e partie, § 1).

Quotient pluviométrique. — Le quotient pluviométrique, établi par ÉMBERGER (62), est une autre façon de mettre en valeur les rapports thermiques et pluviométriques d'une région. (*)

(*) Signalons que HENIN et GODARD (85) ont été conduits à utiliser, non plus la valeur météorologique de P, mais une valeur nouvelle qu'ils appellent « pluie normée » et qui synthétise à la fois la pluviosité et l'action évaporante du milieu.

Il est représenté par la formule :

$$Q = \frac{P}{2 - \frac{(M - m)}{2}} \times 100$$

ou P représente la pluviosité, M la moyenne des maxima de température du mois le plus chaud, *m* la moyenne des minima du mois le plus froid. $M - m$ représente donc l'écart thermique.

Ce quotient permet en particulier de déterminer les grands climats du monde. C'est ainsi que le climat méditerranéen français doit avoir un quotient annuel ne dépassant pas 100 et un quotient d'été inférieur à 30.

Nous constatons qu'à Valence (Drôme), en climat tempéré continental, on a pour Q les valeurs suivantes : 108 et 31, tandis qu'à Orange (Vaucluse), en climat méditerranéen, $Q = 95$ et 27.

La limite de ces deux climats se trouvent à peu près, au niveau du défilé de Donzère, dans la vallée du Rhône.

Remarque. — Si l'on possédait, pour une région étudiée, des mesures directes et comparables de l'évaporation, on pourrait appliquer l'indice de TRANSEAU, $I = P/E$ (rapport des précipitations à l'évaporation). Cette formule plus exacte n'a pas la fragilité des hypothèses sur lesquelles repose le calcul des autres indices et qu'aucun auteur ne conteste d'ailleurs.

Néanmoins, ces indices présentent incontestablement un réel intérêt quand on se place sur le plan de la climatologie générale à l'échelle géographique (GESLIN (73), ce qui est le cas pour la région que nous étudions.

Signalons enfin que la détermination de l'équilibre, radiation globale — température (indice R/T) peut-être utile à connaître quand il s'agit de l'adaptation de certaines plantes comme le riz (nous en reparlerons plus loin).

LES SAISONS

HIVER. — L'hiver, soumis à un régime atmosphérique anticyclonal est une saison sèche. Février est, avec juillet, le mois le plus sec de l'année. Durant cette saison hivernale la luminosité est remarquable ; il n'est pas rare, après une pluie d'avoir un ciel absolument pur, d'un bleu si transparent, qu'on aperçoit au loin le moindre détail à l'horizon. La neige est très rare dans le Midi et les hivers aux gelées fréquentes et fortes sont très espacés.

L'hiver 1929 a été un des plus froids (— 17 à Avignon) et, chose très rare, nous avons eu trois années de suite un hiver rigoureux (janviers 1940, 1941, 1942). Pour que l'on ait un hiver exceptionnellement froid il faut une situation barométrique assez spéciale,

la jonction des anticyclones des Açores et de Sibérie. Toute action venant de la Méditerranée est alors neutralisée et le Midi de la France est rattaché comme le reste du pays, à un régime de vents continentaux et glaciaux.

PRINTEMPS. — Cette saison n'existe pour ainsi dire pas en Provence. C'est l'hiver parfois doux qui se poursuit ; les mois de printemps présentent pourtant deux caractéristiques : une de périodes pluvieuses et une de fréquence maxima de mistral. Aussi les inondations et les gelées précoces sont à redouter. Le printemps en Provence est donc pour le paysan une période d'inquiétude, parfois de catastrophes pour lui !

ÉTÉ. — L'été n'a qu'un seul type de temps : une saison chaude et sèche ; c'est une période très stable et le Midi méditerranéen est ici en contraste très net avec le reste de la France.

« Les pays méditerranéens sont par leur indice d'aridité, de « vrais déserts pendant les mois d'été. » (De MARTONNE) (106). La Provence, le Languedoc, connaissent donc tous les ans d'une façon immuable, ce calme atmosphérique désertique durant deux mois et demi au moins. Toutefois, dans la partie nord du Bas-Rhône, les orages de la fin de l'été sont plus fréquents et parfois plus violents.

AUTOMNE. — L'automne, au contraire, est riche en changement de temps. C'est la principale époque de saison des pluies. Celles-ci le plus souvent sont violentes et courtes et les provençaux bénéficient alors de belles journées automnales qui se prolongent souvent bien après les vendanges. Parfois, au contraire, il s'établit à partir de fin octobre un régime régulier de précipitations qui s'étend sur tout le sud-est.

Ainsi l'irrégularité de ces facteurs climatiques et ses conséquences parfois désastreuses ont été longtemps un obstacle au développement normal de la vie agricole dans tout ce pays.

Les Mésos et Micro-climats.

Le climat général du Bas-Rhône se rattache donc aux climats méditerranéens. Toutefois, l'influence du mistral le différencie déjà du climat méditerranéen de la Côte d'Azur. On observe d'autres méso-climats dans le Bas-Rhône.

En allant de la Méditerranée à Donzère, du Sud au Nord, on observe des variations dans la pluviosité saisonnière. Au sud d'une ligne passant par la Costière du Gard, Avignon, remontant dans le Comtat pour redescendre dans la vallée de la Durance, le classement de la pluviosité saisonnière est le suivant : automne, printemps, hiver, été (A.P.H.E.), l'été étant la saison la plus sèche. C'est la zone du méso-climat méditerranéen sublittorale.

Au nord de ladite ligne, le classement est le suivant : A.P.E.H. l'hiver restant la saison la plus sèche. En effet, les orages d'été sont

PRÉCIPITATIONS MENSUELLES A AVIGNON de 1926 à 1940 et de 1943 à 1949 (en m/m)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
1926	25,2	33,4	105	39,8	159,7	28	0	7,3	88	131	299,3	26,6	953,3
1927	19,7	21,7	156,7	15,5	42	23,9	59,5	16,6	65,7	22	122,8	8,1	574,2
1928	23,2	0	94,2	115,2	36,2	31,5	0	27	49,3	127,3	84,2	179,4	767,5
1929	15,3	1,3	0	38,5	28	4	38	21,5	66,5	186	4,5	36,1	439,7
1930	65	96,5	35,5	43,5	104,5	52	32	41	179,5	29,5	44	57,2	780,2
1931	36	19	47,5	6	86,5	0	35	47	258	104,5	97	33	779,5
1932	84,5	0	64	55,5	66,5	70,5	73,5	19	75	11	85	10,5	615
1933	36,8	38,5	34,9	36,1	36,2	93,3	9,3	0	293,8	68,7	179,3	133,5	960,4
1934	61,3	10,5	61	136,8	83,4	116,2	24,5	67,3	28,9	0	183	128	899,9
1935	0	14,5	60	47,1	76,3	18,2	4,5	131	13,6	122,3	266,5	105,4	864,4
1936	128,4	81,1	65,9	152,3	38,7	46,5	36,2	64,6	13,8	0	55,1	85,3	767,9
1937	49	62,8	159,5	66,6	62,2	77	6,1	31,2	61,4	67,2	105,1	17,5	765,6
1938	28,5	0	6,5	0	197,4	16,5	13,6	17,8	82,4	39	103,8	44,6	550,1
1939	71,5	66,5	7,7	133,5	75,5	42,3	52,3	63,7	22	56,6	31,7	77,7	711
1940	24,5	28,5	33,3	23,5	71	202,3	55	12,5	88,5	61,3	—	—	600,1
1943	—	—	—	—	16	0	3,5	53,5	88,9	85,5	126,6	178,1	552,1
1944	9	45,9	2	22,9	20,9	42,7	60,5	7,5	108	134,2	32,1	113	598,7
1945	7,8	4,1	28	20,2	53,4	26,9	1,5	75,9	40,2	133,9	12,2	74,7	478,8
1946	12,9	14,4	50,4	77,8	79	18,1	0	115,7	7,3	78,9	58	17,9	530,4
1947	38,1	98,3	113,7	10,6	50	7,5	43,3	31,8	61,2	92,8	33,8	61,3	642,4
1948	193,2	25,5	78,3	113,3	136,2	47,9	11	50,1	144,6	140,6	0,8	72,5	1025
1949	13,4	0,2	104,2	32	105,9	2,8	2,3	12,2	25,6	61,4	104,6	108,4	574,2

Observations des postes de la Station Agronomique et de la Protection des Végétaux d'Avignon.

plus violents et les chutes d'eaux plus importantes, notamment le long des Cévennes et du Ventoux. Nous sommes ici dans la zone de méso-climat de transition à influence méditerranéenne.

Enfin il existe une troisième zone de méso-climat méditerranéen littorale. Celle-ci ne présente dans le Bas-Rhône qu'une étroite bande le long de la mer, en Camargue et en Crau.

Le relief contribue également à la formation de méso-climats plus restreints, comme dans le Nyonsais, le pays de Sault, le bassin d'Apt et le pays d'Aigues. Ces zones, mieux protégées par les montagnes environnantes reçoivent un mistral bien moins violent. Très souvent, il souffle avec force dans la vallée rhodanienne tandis qu'une faible bise du nord parcourt ces pays mieux abrités.

Les micro-climats sont ceux que nous trouvons à l'adret (sud) ou à l'ubac (nord) d'une des petites collines calcaires de la région du Bas-Rhône, ceux qui caractérisent certaines zones forestières de montagne, ce sont enfin les climats du sol ou pédo-climats que l'on trouve dans les grottes ou cavités du calcaire ou bien dans certains sédiments au niveau de la nappe phréatique et également dans la terre arable.

Si le climat atmosphérique définit l'ambiance propre aux organes aériens des végétaux, le sol régit un assez grand nombre de phénomènes concernant le développement des plantes.

Les deux facteurs d'un pédo-climat sont la chaleur et l'humidité. Ils jouent, en l'occurrence, un rôle essentiel. Leur étude comprend notamment le rôle du pouvoir absorbant et du pouvoir émissif du sol, celui de l'échauffement. (Lois de propagation des oscillations thermiques et du refroidissement. NOVAK (119), EBLE (67), DEMOLON (48).)

D'autre part, on tiendra compte de l'humidité du sol et de son profil hydrique. Nous reviendrons sur ce sujet à propos de nos recherches sur l'irrigation souterraine.

Remarque. — Signalons, d'après AUBERT (5), que « le drainage, « calculé en fonction de la pluviométrie et de la température annuelle, « compte tenu de la perméabilité de la roche-mère du sol, est susceptible de fournir une caractéristique micro-climatique intéressante « d'un lieu donné. »

Ainsi ces diverses formes ou variétés du climat méditerranéen du Bas-Rhône, résultent avant tout de la manière dont s'associent les trois facteurs principaux : les pluies, les températures et l'évaporation.

§ 2. LA PROTECTION CLIMATIQUE DES CULTURES

L'irrégularité des facteurs climatiques de la région du Bas-Rhône, obligent les Agriculteurs à prendre certaines précautions. Ils doivent même utiliser des techniques appropriées s'ils veulent obtenir des cultures intensives.

Non seulement l'Agriculteur rhodanien aura recours au drainage, mais encore à l'irrigation. L'aménagement agricole des eaux prend une grande importance en Vaucluse et dans les Bouches-du-Rhône.

Le paysan doit également se protéger contre d'autres excès de ce climat, contre le mistral et les refroidissements qu'il provoque brusquement au printemps. Nous allons étudier ces différentes techniques en indiquant les améliorations que nous avons apportées.

A) L'Aménagement Agricole des Eaux

L'eau est certainement le premier aliment des plantes et la formule de GASPARIŃ prend, dans le Midi, toute sa valeur :

$$\text{Chaleur} \times \text{Humidité} = \text{Végétation.}$$

Entre ces deux éléments, il faut donc un équilibre judicieux pour obtenir des récoltes abondantes. Si on a beaucoup de chaleur et pas d'eau, on arrive au désert : un excès d'humidité, au contraire, conduit au marécage.

Dans ces deux cas extrêmes, l'Homme, luttant contre les excès de ce facteur climatique, peut arriver à rétablir l'équilibre nécessaire en *irrigant* d'une part et en *drainant* d'autre part.

Il faut, suivant le vieux conseil d'Olivier de SERRES : « Que les « eaux arrivent partout et ne stagnent nulle part. »

1° Assainissement

Nous avons vu que sous le climat méditerranéen les précipitations atmosphériques sont très inégalement réparties suivant les saisons. L'intensité des pluies dépasse souvent la capacité d'absorption pour certains types de sol ainsi que les besoins des cultures.

La situation topographique joue aussi un rôle important car aux pluies tombées directement sur le sol viennent s'ajouter les eaux de ruissellement ; dans certaines zones, l'érosion les rend redoutables. Ces eaux s'accumulent alors dans des cuvettes ou petites dépressions parfois même situées sur des plateaux ou en montagnes. Si l'écoulement de ces eaux est lent, elles séjournent trop longtemps sur le terrain et elles deviennent nuisibles tout au moins pendant la période où l'évaporation ne fonctionne que faiblement (automne et fin de l'hiver surtout).

Une terre humide est froide (inapte, par conséquent, à la culture de certaines primeurs). Elle est mal aérée, elle retarde ou empêche l'activité microbienne ; elle peut être le siège de phénomènes de réduction (asphyxie) et donne enfin naissance à une végétation spontanée spéciale — juncs, roseaux, carex, etc... dont on a du mal à se débarrasser.

Si surprenant que cela puisse paraître, ces conditions se rencontrent encore assez souvent dans le midi et notamment dans la région du Bas-Rhône. C'est pourquoi, dans certains cas, on doit envisager l'évacuation des eaux en excès au moyen de drains souterrains, de fossés ouverts, de roubines et de canaux collecteurs d'assainissement et cela parfois dans des zones très sèches en été.

C'est ainsi que nous rencontrons des étangs hivernaux sur les terrasses (sèches) à cailloux roulés reposant sur une argile (cas de la Costière du Gard, par exemple) ; un phénomène analogue se rencontre dans les garrigues calcaires où certains petits bassins fermés (dolines ou poljes) colmatés par l'argile rouge remaniée, sont inondés chaque hiver et présentent une végétation caractéristique des bords d'étangs (plateau de Saint-Christol, garrigue nîmoise, etc...).

Les travaux d'assainissement constituent la première étape de l'aménagement d'une propriété. Il ne faut pas oublier lorsqu'on prend possession d'une ferme de bien examiner les différentes parcelles de terre et de voir leur comportement en hiver et en été (variation du profil hydrique) de façon à prendre, en toute connaissance de causes, les mesures appropriées. On ne devra pas hésiter à faire effectuer un drainage si cela est nécessaire. D'ailleurs, ces travaux d'évacuation d'eaux en excès, peuvent être suivis par l'amenée d'eau d'irrigation pour lutter contre la sécheresse estivale. Drainage et irrigation, dont nous allons parler, sont deux opérations qui ne sont pas contradictoires dans la région du Bas-Rhône. Au contraire, il n'y a pas d'arrosage des terres qui soit profitable sans un assainissement préalable.

Les études de drainage sont entreprises par le Service du Génie Rural. Elles sont faites en tenant compte des profils hydriques et pédologiques, en essayant autant que possible de déterminer avec précision le bilan hydraulique (eaux de pluies et de ruissellement, eau en réserve du sol, eau utilisée par les plantes et eau évaporée). En pratique les caractéristiques d'un réseau de drainage (distance du sol à laquelle on doit faire descendre le plan d'eau, profondeur et écartement des drains) sont calculées au moyen de la formule de PORCHET qui tient compte de la vitesse de filtration (coefficient K) et de la hauteur capillaire du terrain.

Les travaux de drainage modifient les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols. Leur application est recommandée non seulement dans les contrées humides ou semi-humides, mais aussi dans celles où l'on pratique l'irrigation sur des terrains peu perméables. (Professeur DISERENS (56).)

La combinaison de ces deux techniques d'hydraulique agricole permet de régler à volonté, dans certaines installations, le niveau de l'eau dans le sol. Un tel système fonctionne dans le delta de l'Aude (Domaine de la Prairie à Narbonne).

Pratiquement tous ces travaux d'amélioration consistent : 1^o Dans l'assainissement *général* par réseaux de fossés d'écoulement procédé à la charge d'une collectivité, contrôlé par l'Etat (Génie Rural) ; et 2^o Dans l'assainissement *local* des champs au moyen de tuyaux de poterie, à la charge du propriétaire.

L'entretien de ces ouvrages d'assainissement des terres, drains, roubines, canaux d'évacuation, etc... par les propriétaires ou les associations syndicales est une chose primordiale. Leur abandon ramène automatiquement, dans certaines régions et en peu d'années, des surfaces jadis cultivées à l'état de friches ou de marécages. C'est uniquement pour cette raison, que plusieurs milliers d'hectares sont actuellement improductifs dans la région du Bas-Rhône : 3.000 hectares dans l'ancien marais des Baux (*), plus de 1.000 hectares dans la zone redevenue marécageuse et salée au sud de Beaucaire et 2.000 hectares environ dans les paluds de Noves, de Saint-Rémy-de-Provence et dans l'ancien étang de Pujaut. Ce sont là des exemples démonstratifs, et la remise en état par le Génie Rural des ouvrages d'assainissement qui existent et qui fonctionnaient jadis, permettra de revaloriser à peu de frais, relativement, des terrains dont certains portaient encore avant 1914, des cultures florissantes.

2° Irrigation

Dans le Midi de la France, l'irrigation est une mesure indispensable de protection contre les excès de sécheresse du climat méditerranéen.

Nous allons examiner quels sont les moyens dont l'agriculteur peut disposer pour arroser les terres de son domaine et de quelle façon il doit s'en servir.

L'agriculteur provençal peut s'alimenter en eau soit *collectivement* par les différents canaux d'irrigation qui sillonnent le Vaucluse et les Bouches-du-Rhône, soit *individuellement* par des puits artésiens, par pompage dans la nappe phréatique au moyen de l'antique noria à godets, au moyen de pompes mues par le vent ou par des moteurs électriques ou à essence.

Cette eau sera utilisée, ainsi que nous le verrons, soit par asperersion, soit par voie superficielle, soit par voie souterraine (dans certains cas particuliers). Mais au préalable, l'agriculteur aura à se rendre compte si l'irrigation est techniquement possible dans son exploitation.

Aptitude d'un sol à l'irrigation. — On a creusé de nombreux canaux qui ont coûté fort cher pour arroser des terres, sans se préoccuper, la plupart du temps si leur constitution physique les rendait propre à l'irrigation. Le propriétaire d'un domaine doit donc, au préalable, être renseigné d'une façon précise sur cette importante technique, surtout s'il a l'intention d'engager des frais, toujours élevés, d'aménée d'eau et de nivellement du terrain. Il devra avoir recours au Service du Génie Rural qui fera sur place, les essais de perméabilité du sol (vitesse de filtration) qui ont pour but de renseigner l'agriculteur, compte tenu de l'étude pédologique, sur

(*) Assaini en grande partie depuis la guerre.

l'aptitude de sa terre à l'irrigation. La perméabilité d'un sol en place dans la région du Bas-Rhône, est susceptible de varier dans la proportion de 1 à 500, soit de 0,1 cm. à 50 cm. En effet, un sol trop argileux ne se laisse pas pénétrer par l'eau, il est donc impropre à l'arrosage ; de même un sol sableux laissera passer trop rapidement l'eau vers le sous-sol sans profit et même en entraînant, par ce véritable lessivage, tous les éléments solubles utiles aux plantes.

Entre ces deux cas extrêmes, à exclure, il y a toutes les variantes et la mesure des vitesses de filtration nous donnera des renseignements utiles pour déterminer le module d'eau que l'on devra employer pour arroser, dans un temps donné, une surface déterminée. Dans ces conditions, on conçoit toute l'importance de cette détermination dans un projet d'irrigation ; c'est pour avoir méconnu ce principe qu'on a subi de graves échecs. (Cas du canal de la Bourne, dans la Drôme.)

D'autre part, cette donnée devra être en rapport également avec les possibilités hydrographiques du bassin fournissant l'eau à la propriété. C'est ainsi que pour la basse vallée du Rhône, la quantité d'eau nécessaire à l'irrigation a pour valeur moyenne un débit continu de 1 litre par seconde et par hectare ; mais, en fait, en période de sécheresse estivale, il fléchit jusqu'à 0 l. 60 et même 0 l. 50. Ce dernier chiffre est un minimum rigoureusement indispensable pour assurer des récoltes normales.

Les canaux d'irrigation. — Nous avons vu que les canaux d'irrigation dans la région du Bas-Rhône sont d'origine très ancienne puisqu'il nous reste le Réal de Châteaurenard de Provence, datant de l'époque romaine.

Au cours des siècles, dans les périodes de calme où les Hommes ne se déchiraient pas entre eux et où ils avaient le loisir d'améliorer leur bien-être, de nombreux canaux prirent naissance sur les deux rives de la Durance et vinrent féconder les vastes plaines du Comtat Venaissin et de la Provence.

A l'heure actuelle, 18 canaux principaux avec tout leur réseau de rigoles de distribution et d'arrosage, de colature, arrosent, en évacuant l'excès d'eau, dans les départements du Vaucluse et des Bouches-du-Rhône, près de 60.000 hectares consacrées aux cultures maraîchères, fruitières et aux prairies artificielles (*). L'Agriculteur qui fait partie d'une des Associations syndicales de ces canaux, reçoit l'eau à l'entrée de sa propriété au moyen de vannes ou martelières placées dans une cuvette en béton et dont l'ouverture est variable avec le débit de la filiole. L'arrosant reçoit en général l'eau une fois tous les sept jours et demi pour les prairies et une fois tous les trois jours, trois quarts pour les cultures.

(*) Le Gard déshérité jusqu'alors au point de vue irrigation voit actuellement se réaliser, dans le plan d'aménagement du Rhône, le projet d'irrigation de la vallée de la Tave (1^{re} tranche, côte 60) prévoyant l'arrosage d'environ 2.000 ha.

L'agriculteur peut utiliser les techniques suivantes pour arroser ses terres :

1^o Irrigation par aspersion :

L'eau est répandue à la surface du sol sous forme de pluie. Cette méthode n'est utilisée dans le Midi que pour donner de l'eau au moyen d'un arrosoir aux semis sous châssis.

Elle présente certains inconvénients dont nous reparlerons et l'Agriculteur aura intérêt à utiliser, dans le cas particulier, l'irrigation souterraine (voir plus loin).

2^o Irrigation superficielle :

C'est le mode d'arrosage couramment employé dans la région du Bas-Rhône soit que l'on utilise l'eau provenant du réseau de canaux dont nous venons de signaler l'importance et la grande utilité, soit que l'Agriculteur puise le précieux liquide dans le sous-sol de son domaine.

On arrosera les prairies par la méthode des rigoles obliques aux courbes horizontales du terrain (méthode des calants provençaux) et les cultures maraîchères, à la raie, c'est-à-dire au moyen de rigoles parallèles limitant les étroites planches qui portent les cultures.

Nous n'insisterons pas sur ces techniques d'applications qui sont connues.

Signalons enfin que l'arrosage par submersion est utilisé pour certaines cultures, rizières et vignobles à plants français ; le sol étant soumis par cette méthode à des conditions asphyxiantes, on peut ainsi lutter efficacement contre le phylloxéra. Pour le riz ainsi que nous le verrons, on renouvelle l'eau plusieurs fois, afin d'assurer une aération convenable du sol.

3^o Recherches sur l'irrigation souterraine :

L'étude que nous avons entreprise dans le but d'aménager scientifiquement et économiquement les procédés actuels d'irrigation, a pour base une notion un peu nouvelle quoiqu'il s'agisse d'un phénomène connu : la propriété que possède la terre arable d'attirer l'eau. *Cette force de succion du sol* présente un véritable intérêt scientifique et trouve son application *dans l'arrosage souterrain des plantes*. Si on prend, par exemple, un morceau de terre et qu'on le mette en contact avec l'eau par sa surface inférieure, on voit l'eau monter jusqu'à une certaine hauteur.

Cette force de succion varie avec la nature physique des sols. Elle est en rapport avec l'état de tassement des terres et leur humidité.

Cette force a été mise en évidence par de PERALTA (125) et par KORNEFF (89) (*).

Si on met une bougie poreuse en communication avec un récipient plein d'eau, dans un sol sec, celui-ci absorbe l'eau à travers la paroi poreuse jusqu'à ce qu'un équilibre s'établisse. La force de succion du sol peut-être ainsi mesurée si l'on place un manomètre qui enregistre le vide produit dans l'appareil.

Nous avons fait usage de ce dispositif et les observations effectuées avec l'« hydromètre Korneff » nous ont conduit à reprendre à sa base l'étude de cette question.

A la suite de nombreuses expériences sur le fonctionnement dudit appareil nous avons été amenés à concevoir et à fabriquer un nouvel instrument permettant des mesures exactes et plus rapides. [(Appareil BORDAS-MATHIEU) (25).]

Connaissant la constitution physique et l'état de tassement d'un sol, nous avons pu, avec notre appareil, étudier les variations de la force de succion de la terre en expérience en fonction de son humidité (108).

Cet appareil, est composé d'un tube poreux ayant un fond. Ce tube a la propriété, à l'état humide, de laisser passer l'eau sans que des bulles d'air pénètrent de l'extérieur. Il est fixé par un ajustage hermétique à un réservoir en verre en communication avec un manomètre à mercure à l'air libre.

L'appareil que nous avons conçu présente les caractéristiques suivantes :

1° Nous évitons de modifier l'humidité du sol dont on mesure la force de succion *en rendant mobile l'une des branches du manomètre*, de telle sorte que, au cours de l'opération, on empêche l'eau de l'appareil de passer dans le sol et la force de succion mesurée correspond bien à l'échantillon de terre initiale ayant la même humidité et le même tassement.

2° On supprime certaines corrections :

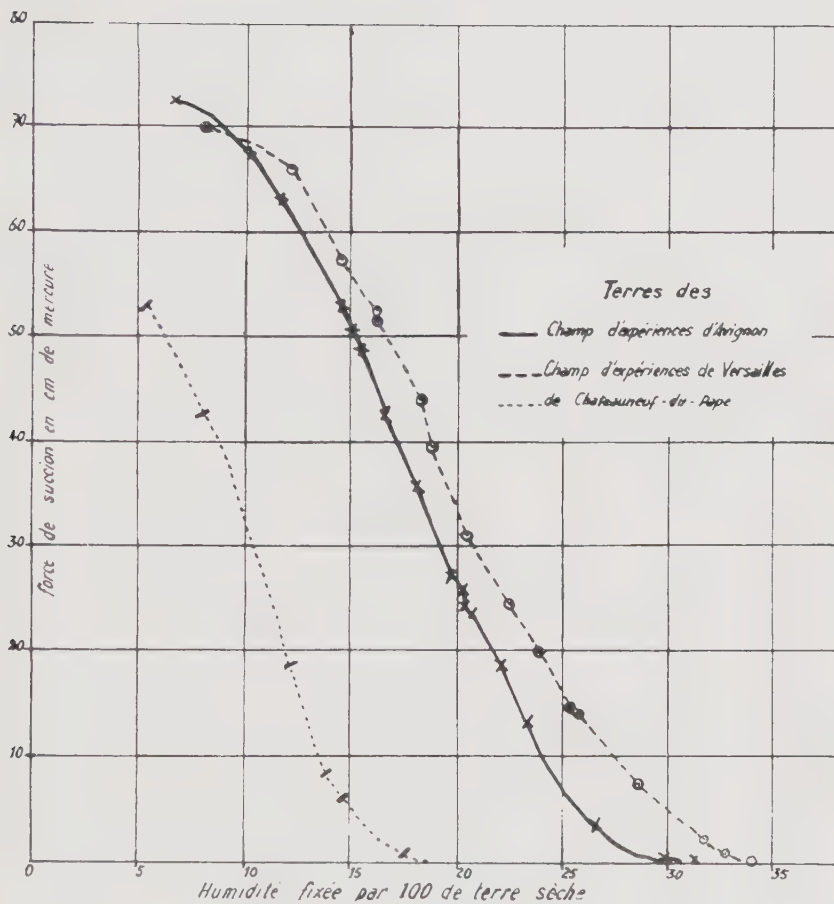
a) La tension de la vapeur d'eau car l'appareil est rempli d'eau bouillie sans volume d'air à l'intérieur.

b) La rapidité de la mesure (deux heures au maximum) permet d'opérer à la même température et sous la même pression atmosphérique.

Examen des terres des champs d'expériences des Stations de Recherches Agronomiques d'Avignon et de Versailles et d'un sol du vignoble de Châteauneuf-du-Pape (Vaucluse) :

Les échantillons ont été préparés suivant une technique appropriée (dessication à 18-20°, passage au tamis de 2 mm. et tassement toujours le même autour de la bougie).

(*) SCHOEFFIELD à Rothamsted exprime cette force de succion par le symbole pF , en utilisant une échelle logarithmique. Cela nous renseigne sur l'humidité limite atteinte dans une couche de terre où l'eau circule de haut en bas.



Les résultats obtenus à la Station Agronomique d'Avignon (*) montrent que la force de succion augmente rapidement quand l'humidité du sol diminue. D'autre part, c'est entre 10 et 12 % d'humidité pour le sol de Châteauneuf-du-Pape, entre 16 et 18 % d'humidité pour la terre d'Avignon et 18 à 20 % pour celle de Versailles que la pente des courbes est maximum. Cette zone correspond à peu près à 52-50 % de la capacité de saturation (**), c'est-à-dire aux meilleures conditions d'humidité pour la croissance des plantes cultivées.

Il semble donc que le sol, par sa force de succion, veille à conserver cet optimum d'eau puisque c'est dans cette zone qu'il réagit le plus vigoureusement contre les variations d'humidité.

Enfin, nous remarquons que la force de succion de la terre de Versailles est plus élevée que celle d'Avignon. On peut l'attribuer à sa teneur supérieure en argile.

D'une façon générale plus la terre est riche en éléments fins, colloïdes argileux et limons, sables fins, plus la courbe représentant la force de succion en fonction de son humidité s'éloigne de l'axe des Y. La terre de Châteauneuf-du-Pape est du type sablo-limoneux, celle d'Avignon du type limoneux. (Voir le schéma.)

Des examens ont été également faits sur sols en place. En général, on remarque qu'in situ la force de succion est plus grande qu'in vitro (tassement et agrégation plus considérable).

En résumé :

I. — On peut, avec notre appareil mesurer la force de succion du sol en place, aussi bien qu'au laboratoire.

II. — On ne peut pas en déduire son humidité.

III. — On peut cependant déduire de ces mesures l'assimilabilité de l'eau du sol en place, car ce n'est pas le taux d'humidité de la terre qui importe aux racines des plantes, mais la force avec laquelle l'eau est retenue par le sol.

IV. — On peut donc étudier les mouvements de l'eau dans le sol grâce à la force de succion qui les dirige.

(Recherches entreprises par mon collaborateur G. MATHIEU (108).)

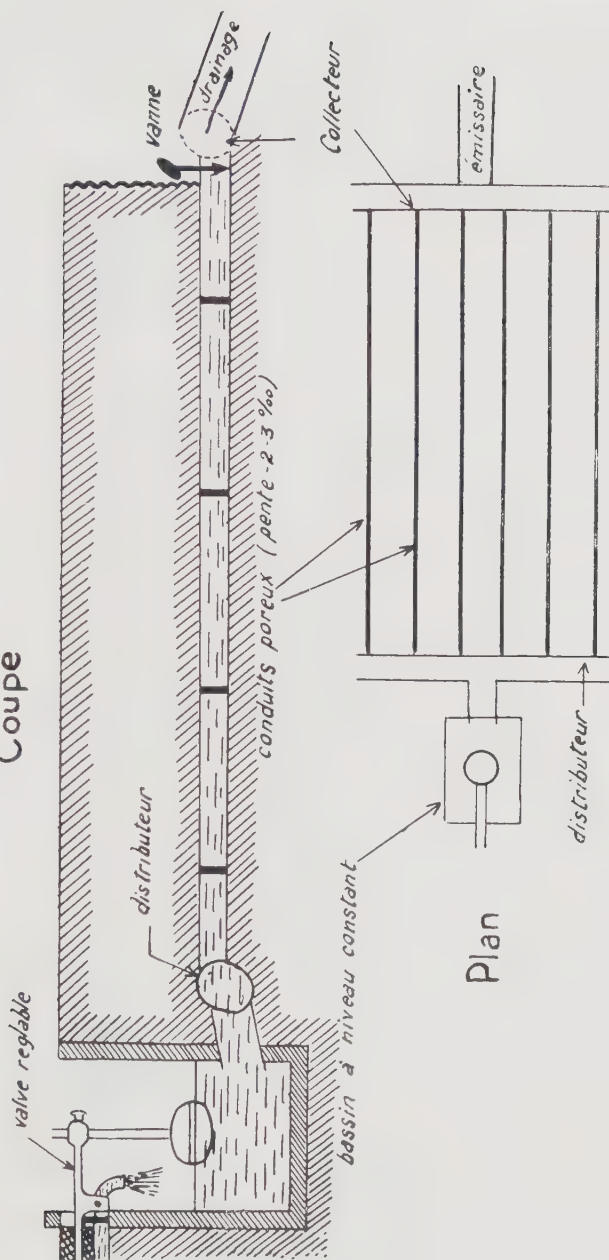
Comme conséquence pratique, on a le moyen d'utiliser la force de succion du sol pour créer une zone humide dans la terre arable à une profondeur convenable. C'est le principe de l'irrigation souterraine.

(*) Par M. G. MATHIEU, sous ma direction.

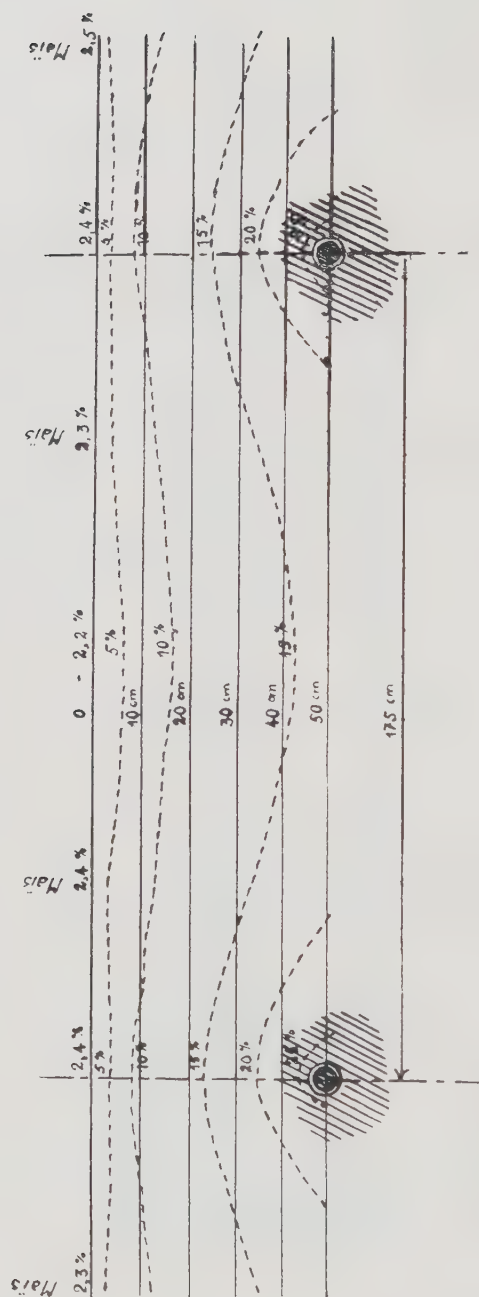
(**) En utilisant la notion de force de succion nous disons simplement qu'un sol est saturé quand sa force de succion est nulle.

Système d'Avignon — Irrigation souterraine .

Coupe



Système d'Avignon — Répartition de l'humidité dans le sol.



Procédé d'irrigation souterraine continue d'Avignon.

C'est en étudiant de près les deux systèmes d'irrigation souterraine préconisés par KORNEFF et en tenant compte d'autre part, de tous les travaux faits à l'étranger sur cette question que nous nous sommes efforcés de réaliser un procédé simple et pratique.

L'installation est la suivante (voir le croquis ci-contre).

On place des tuyaux en poterie poreuse dans une tranchée profonde de 40 à 50 cm. Cette profondeur, doit être réglée de façon que le niveau d'eau souterrain donne aux plantes une humidité convenable grâce à la force de succion du sol.

La tranchée est faite à l'aide d'une charrue de défoncement. *La pente doit être faible* (2 à 3 mm. par mètre), juste pour permettre un drainage éventuel.

Les tuyaux poreux sont reliés entre eux par un simple joint en ciment. *Il n'est pas utile que le système soit étanche.* On remplace la terre dans les tranchées espacées de 1 m. 75 (pour les cultures maraîchères). Il y a lieu de noter qu'il est bon d'ameubler par un labour et un hersage l'ensemble du terrain afin que la terre ait partout le même tassement qui influe comme nous l'avons vu sur la force de succion. En queue de lignes d'arrosage dont la longueur normale est d'une centaine de mètres, on prévoit un écoulement afin d'évacuer l'eau des pluies (drainage) dans la roubine ou le collecteur, situés perpendiculairement aux lignes d'arrosage, et légèrement en contre-bas.

En tête d'un groupe de lignes se trouve un petit bassin d'une cinquantaine de litres de capacité. Il est en communication d'une part, avec les tuyaux poreux par voie libre ; d'autre part, avec le bassin général d'alimentation. Ce niveau constant est obtenu dans le petit bassin au moyen d'une valve et d'un flotteur, genre de ceux employés dans les chasses d'eau des water-closets, mais avec cette particularité que nous donnons la possibilité de rendre, au besoin, le niveau variable par une valve réglable munie d'une tige graduée.

Remarque. — Dans le cas de terrains très perméables et dans les régions où l'on manque d'eau, on peut prévoir un damage à l'argile du fond de la tranchée afin d'éviter, dans une certaine mesure, les pertes d'eau dans le sous-sol. Des expériences faites dans les Pyrénées-Orientales par MAILLE de GIVRE ont donné entière satisfaction. L'installation fut relativement facile à effectuer.

Répartition de l'humidité (profil hydrique).

L'humidité fournie au sol par le tuyau poreux se diffuse dans la terre d'une façon uniforme. On le constate sur le schéma ci-contre où figurent les courbes d'égale humidité. Si on alimente un sol avec un courant d'eau de telle sorte qu'il n'y ait pas un excès d'eau au niveau du tuyau, on voit que la gravité n'intervient pas d'une façon notable et que les mouvements de l'eau obéissent aux forces de succion

des différentes zones du sol. On peut donc créer dans le sol à une certaine profondeur une humidité artificielle que l'on règle à volonté, grâce à la technique de l'irrigation souterraine.

Les expériences d'irrigation souterraine.

Nous avons poursuivi pendant dix ans, de 1929 à la guerre, des expériences pratiques d'irrigation souterraine. *Toutes ont donné des résultats remarquables.* Toutefois, nous avons été amenés dès 1934 à concevoir, avec des praticiens avertis de Cavaillon, à modifier encore notre système d'arrosage souterrain, afin de le rendre plus maniable encore et d'un prix de revient moins élevé. Nous allons y revenir.

Tous les essais ont été faits successivement sur les principales cultures maraîchères (pommes de terre primeurs, aubergines, tomates, melons, salades, choux), puis, la plus spectaculaire des expériences, sur maïs de la Plata et, enfin, sur prairie. Cette dernière série d'essais a été entreprise avec une nouvelle installation plus moderne établie par le Génie Rural d'Avignon, et permettant d'avoir sur trois parcelles, des profondeurs et des écartements de tuyaux poreux différents.

A titre d'exemple nous donnons ci-après quelques résultats parmi les nombreux essais que nous avons faits.

Cultures d'aubergines.

L'expérience porte sur quatre parcelles, deux avec irrigation souterraine et deux avec irrigation superficielle. Pour chaque mode d'irrigation, une parcelle reçoit la fumure complète, l'autre est privée d'azote.

1^o Irrigation souterraine :

Parcelle A. — Sans azote :

1.000 kg superphosphate.

800 kg sulfate de potasse.

(Epannage le 10 mai, trois jours avant plantation).

Parcelle B. — 1.500 kg de nitrate de chaux 13 %, dont :

500 kg à la volée, le 10 mai.

500 kg dans l'eau d'arrosage, le 25 mai.

500 kg dans l'eau d'arrosage, le 23 juin.

P₂O₅ et K₂O mêmes doses que parcelle A.

2^o Irrigation superficielle :

Parcelle C. — Même formule que pour A.

Parcelle D. — Même formule que pour B, le nitrate étant épanché dans les raies d'arrosage.

La plantation a eu lieu le 13 mai, en motte, pour favoriser la reprise.

Les conditions météorologiques furent défavorables à la végétation et à la fructification de l'aubergine, plante très exigeante au point de vue chaleur.

Les résultats ont été les suivants, rapportés à l'hectare :

Eléments déterminés	A	B	C	D
	kg	kg	kg	kg
Récolte totale des fruits.....	45.700	55.900	28.100	36.000
Poids total des fanes.....	42.400	50.000	30.300	37.200
Azote total exporté.....	410	520	285	410
Excédent par rapport au témoin sans N	—	110	—	125
Azote apporté par la fumure...	—	195	—	195
N exporté				
Rapport —————	—	0,56	—	0,64
N fumure				

L'irrigation souterraine a permis d'accroître les rendements de 50 à 60 % par rapport à l'irrigation superficielle.

De même, l'effet du nitrate de chaux a été très sensible.

Cultures de tomate.

La plante expérimentée a été la tomate « de Marmande », variété utilisée pour la conserve. Les récoltes partielles eurent lieu du 4 août au 26 octobre et donnèrent les résultats suivants rapportés à l'hectare :

Eléments déterminés	Irrigation superficielle	Irrigation souterraine
Récolte totale en kg.....	27.600	51.900
Indice de comparaison.....	100	188
Matière sèche %	4,3	4,2
Azote %	0,115	0,110
Exportation totale d'azote en kg	32	57

Les déterminations des autres éléments de la qualité du jus de tomate, sucres et acidité, effectués sur chaque récolte partielle, ont donné des résultats voisins avec les deux modes d'irrigation.

L'irrigation souterraine a donc presque doublé les rendements, par rapport à l'irrigation superficielle, sans diminuer la qualité de la récolte.

Maïs de la Plata.

Les expériences portant sur le maïs de La Plata permirent de faire des constatations assez importantes pour comparer utilement les diverses récoltes.

a) Le maïs de La Plata irrigué par voie souterraine prit un développement vraiment extraordinaire. Les plants d'une vigueur exceptionnelle ont atteint une hauteur moyenne de 3 m. 50. Certains ont mesuré plus de 4 mètres ! On observe sur les tiges complètement lignifiées à la base et sur une hauteur de 1 mètre, une triple rangée de racines adventives. Les épis sont beaux et lourds. Certains présentent des épillets secondaires déposés en collerettes autour de l'épi central.

On n'a procédé à aucun binage, aucun sarclage, car la surface du sol reste privée de mauvaises herbes qui ne peuvent germer, la terre étant sèche et meuble sur 5 cm. d'épaisseur : on peut donc dire que, depuis le jour du semis jusqu'à la récolte, on ne s'est pas occupé de cette culture.

b) Le maïs irrigué en surface a donné une récolte normale. La hauteur moyenne des plants atteint 2 m. 50.

Les arrosages se faisaient deux fois par semaine. Toutefois, il y a lieu de signaler que trois arrosages n'ont pu se faire à cause du « mistral » très violent. Il était à craindre, en effet, que les pieds de maïs, en terre détrempée, ne se soient déracinées sous la violence du vent. Et pourtant c'est justement par jour de mistral que le soleil brille et que l'évaporation est plus intense : deux causes qui augmentent la sécheresse.

On a dû faire sur cette parcelle trois binages pour enlever les mauvaises herbes qui envahissent vite les ados après les arrosages superficiels.

c) Le maïs cultivé sur une petite parcelle et qui n'a pas été du tout arrosé a beaucoup souffert. Les plants atteignent à peine 1 m. et la récolte est insignifiante.

Poids des récoltes. — Nous donnerons tout d'abord à titre d'exemple, d'après GAROLA (68). Les rendements obtenus pour les variétés très productives de maïs.

En France : maïs non irrigué (S. O.) 23 quintaux à l'hectare.

En Italie : maïs non irrigué, 43 quintaux à l'hectare ; maïs irrigué par submersion : 60 quintaux à l'hectare.

Les parcelles ensemencées en maïs — irrigation souterraine et irrigation superficielle — ont chacune une superficie de 350 m².

Les plantations de maïs sur les deux parcelles semblent avoir un peu plus souffert que de coutume, des dégâts qu'occasionnent toujours le charbon et les noctuelles.

	Récolte sur la parcelle 350 m ²	Récolte à l'hectare
Maïs irrigué par voie souterraine	330 kg	97 qx
Maïs irrigué par la surface. . . .	182 »	53 »

Nous voyons donc que pour le maïs irrigué en surface, nous nous approchons des chiffres obtenus en Italie dans les mêmes conditions.

L'augmentation de rendement due aux effets de l'irrigation souterraine atteint le chiffre de 83 %.

Remarque. — Après cinq ans d'expérimentations sur l'irrigation souterraine, nous avons voulu nous rendre compte, mon collaborateur (Gaston MATHIEU) et moi de l'influence du mode d'irrigation sur la perméabilité du sol en place.

Nous avons procédé à des mesures avec le cercle de CARRIER et nous avons obtenu les résultats suivants :

Hauteurs d'eau infiltrées par heure en cm. moyennes des quatre déterminations.

- 1^o Sol soumis depuis cinq ans à l'irrigation souterraine 6,3 ;
- 2^o Même sol soumis à l'irrigation superficielle 1,6.

D'après ces chiffres, nous voyons que la perméabilité est quatre fois plus grande pour le sol soumis à l'irrigation souterraine. D'après l'échelle classique, le terrain N^o 1 serait considéré comme perméable et le N^o 2 comme peu perméable.

Nous pouvons donc conclure que le mode d'irrigation intervient de façon importante dans la perméabilité des sols, son action pouvant être rapportée à des effets physico-chimiques (concentration de sels calciques en surface et influence sur la structure en irrigation souterraine) et mécaniques (destruction mécanique de la structure par les apports d'eau superficiels).

Essais d'irrigation souterraine discontinue « Système de Cavaillon ».

C'est en 1933 que nous avons substitué aux tuyaux poreux, difficiles à fabriquer et coûteux, les simples drains en poterie, matériaux courants et d'un prix peu élevé.

Ce nouveau système, installé en 1934, chez quelques agriculteurs de la région de Cavaillon, fut baptisé par nous « Système de Cavaillon » (*). Le dispositif d'arrosage est fort simple. En tête de la parcelle existe un simple fossé comme pour l'irrigation superficielle.

(*) Par opposition au « Système d'Avignon » précédemment décrit.

De ce fossé partent des canalisations souterraines placées à 40 cm. de profondeur et à 1 m. 60 ou 2 m. d'écartement. Elles sont constituées par des tuyaux de drainage de 5 cm. de diamètre intérieur, placés bout à bout. Pour éviter les obstructions possibles, l'entrée des canalisations est placée à quelques centimètres au-dessus du fond du fossé et protégée par une toile métallique.

L'eau est distribuée périodiquement, tous les six à huit jours. Le débit instantané est le même qu'en irrigation superficielle, mais la durée de l'arrosage est réduite des deux tiers d'où une grande économie d'eau.

Pour favoriser l'infiltration de l'eau dans les terrains en pente un des expérimentateurs M. Jules GRAND, Président du Syndicat Agricole de Cavaillon, a eu l'heureuse idée de placer des vannes de distance en distance sur la canalisation souterraine ; l'usage de ces dispositifs permet de mieux répartir l'eau sur toute la parcelle.

Résultats obtenus :

MM. Jules GRAND et Marius JEUNE, de Cavaillon ont utilisé ce système d'irrigation en 1934, et les années suivantes, en particulier pour des cultures de melons.

Les essais nous permettent d'évaluer *la précocité* de la récolte de huit à quinze jours, en faveur de l'arrosage souterrain. Cette avance a une grande importance au point de vue économique car elle permet de vendre les produits à des cours nettement plus élevés.

En ce qui concerne *la quantité* nous avons constaté que les rendements étaient deux à trois fois plus importants avec l'irrigation souterraine.

Enfin, au point de vue *qualité*, l'irrigation souterraine donne de meilleurs produits que l'irrigation superficielle ; cette qualité peut-être caractérisée par les observations suivantes :

1° Proportion nulle ou très peu élevée de melons fendus ou malades ;

2° Odeur et saveur plus agréables ;

3° Richesse en sucre plus élevée :

Melons arrosés en surface : 80/90 gr. par kg.

Melons arrosés souterrainement : 120/130 gr. par kg.

Arrosage des jeunes arbres.

Nous signalons ci-après, un procédé simple, que nous avons mis au point, pour l'arrosage des arbres de petits vergers ou d'ornement (parcs et avenues). Il s'agit d'une variante du système d'irrigation interne. Au moment de la plantation on établit dans le trou, à 50-60 cm. de profondeur, un petit lit circulaire de gros graviers sur lequel aboutissent verticalement deux tuyaux de drainage placés symétriquement par rapport à l'arbre et dépassant légèrement la surface du sol. Par l'orifice supérieur on verse de l'eau (plus tard

additionnée d'engrais solubles), qui arrive ainsi directement aux racines de l'arbre que l'on a planté. On évite de cette manière la formation de racines trop superficielles qui peuvent se dessécher et on supprime le colmatage de la cuvette d'arrosage (inutile en l'occurrence), qui empêche la pénétration de l'eau superficielle en profondeur, dans le cas de l'arrosage normal en surface.

La croissance de l'arbre est extrêmement rapide ainsi que nous avons pu le constater sur platanes, tilleuls, mûriers de Chine, arrosés avec ce procédé.

*
* *

En résumé, nous avons donc, en faveur de l'irrigation souterraine, les avantages suivants sur l'irrigation superficielle :

1° Economie d'eau de 75 % environ avec le « Système d'Avignon » (un peu moins avec celui de « Cavaillon » (*) ;

2° Sol conservé meuble et bien aéré (maintien d'une bonne perméabilité) ;

3° Suppression presque totale des mauvaises herbes, car la surface reste volontairement sèche sur 4 ou 5 cm. — sauf en cas de pluies, d'ailleurs rares en été ;

4° Précocité marquée des récoltes, d'où vente à meilleur prix ;

5° Augmentation très importante des rendements ;

6° Atténuation de certaines maladies des plantes (cas de la « gale » des pommes de terre et du « blanc » du melon) ;

7° Possibilité d'alimenter les plantes au moyen d'engrais solubles (moins de pertes d'éléments fertilisants et économie sur la quantité utilisée) ;

8° Utilisation éventuelle du réseau souterrain pour désinfecter le sol.

Tous ces gros avantages auraient dû faire de l'irrigation souterraine un procédé de choix pour les cultures maraîchères et florales. Et pourtant, vingt ans après les premiers essais d'Avignon, nous ne sommes « pratiquement » guère plus avancés !

A quoi cela tient-il ? A plusieurs causes : Tout d'abord, le prix de revient de l'installation de l'irrigation souterraine paraît élevé à première vue, de l'ordre de 15 à 20.000 francs en 1939 pour le système d'Avignon ; pour le drainage inversé, système de Cavaillon, on arrivait à un chiffre bien inférieur. Toutefois, nos calculs prouvaient qu'avec le premier chiffre, l'amortissement se faisait en deux ans seulement.

Ensuite, les quelques années qui précédèrent la guerre coïncidèrent avec la grave crise de mévente des produits maraîchers, dont nous avons parlé, ce qui ne facilitait pas les choses.

Enfin, l'esprit individualiste et méfiant du paysan méridional que nous avons signalé au début de cet exposé était particulièrement

(*) Toutefois il est préférable de ne pas employer de l'eau trop chargée en limons.

développé chez le maraîcher qui reste encore bien fermé à toute innovation, même spectaculaire comme ce fut le cas de nos essais sur le maïs. Si quelques expérimenteurs, à l'esprit plus ouvert, nous ont suivi, à Cavaillon, aucun autre agriculteur n'imitait leur exemple.

Et c'est peut-être pour toutes ces raisons que les services de vulgarisation du Ministère de l'Agriculture occupés par ailleurs, à la veille de la guerre et pendant celle-ci, à des tâches purement administratives, ne crurent pas devoir s'intéresser alors à cet important problème.

Pourtant, à l'heure actuelle et au moment où l'Agriculture française doit s'équiper pour obtenir en plus grande quantité des produits de qualité, l'irrigation souterraine devrait avoir sa place dans la technique agricole moderne.

B) Lutttes contre les variations brusques de température et les intempéries

1^o Lutte contre le Mistral :

Nous avons indiqué que le mistral est le vent le plus fréquent dans la basse vallée du Rhône où il est particulièrement violent. Il domine nettement le climat méditerranéen de cette zone centrale bordant le golfe du Lion.

Ses effets mécaniques sont parfois désastreux et le paysan provençal ou languedocien doit se protéger contre le mistral.

Tous les mas sont orientés de l'ouest à l'est ; toutes les ouvertures, petites d'ailleurs, sont au midi ; aucune fenêtre ne s'aperçoit au nord et ce côté est réservé à la cave en général.

On protège les cultures maraîchères et fruitières par des haies permanentes de cyprès ou de thuyas, et des haies mobiles de cannes de Provence (*Arundo donax*), séchées et placées verticalement, serrées les unes contre les autres, pour former un abri sûr. Cet ensemble de haies parallèles constitue la défense que les cultivateurs rhodaniens édifient contre ce terrible mistral.

Les haies de cyprès brisent le vent et le forcent à monter au-delà ; du côté sud il se forme des remous, véritables contre-courants de retour qu'il faut éviter à tout prix. Mais, si dans ce but, on rapproche trop les haies de cyprès les unes des autres, elles prennent au sol de l'eau et des matières nutritives ; on s'efforce donc de les écarter le plus possible (tous les 30 à 40 mètres) en plaçant dans l'intervalle, des haies de cannes mobiles (celles-ci durent trois ou quatre ans) qui jouent un rôle analogue.

Ces paysages artificiels, aménagés avec soins, et l'aspect si particulier de tous ces rideaux sombres de cyprès bien taillés, de toutes ces parcelles de terre cloisonnées et orientées dans le même sens, ne datent que d'un siècle (1830), de l'époque où les cultures maraîchères et fruitières ont commence à s'installer dans les basses

vallées du Rhône et de la Durance pour remplacer la culture de la garance détrônée par les colorants chimiques.

Le mistral n'est pas redoutable seulement par ses effets mécaniques. On peut craindre après son passage, au printemps surtout, un abaissement rapide de la température qui occasionne dans certaines zones particulièrement exposées, des gelées légères mais qui peuvent être désastreuses.

2° Lutte contre les gelées printanières :

Le cultivateur, commençant à obtenir de bons résultats dans la lutte qu'il a entreprise depuis quelques années déjà contre les ennemis des cultures, songe aujourd'hui à combattre des adversaires encore plus redoutables, la grêle et surtout le gel.

Le paysan entend, à vrai dire, un métier où la spéculation joue un grand rôle. Impuissant à prévenir certaines forces dévastatrices de la nature, il joue sur la chance de passer habilement à travers leurs embûches. Encouragé par cette idée de réussite, il en vient à cultiver des plantes à contre saison, des primeurs, si bien que même en Afrique du Nord, où les semis sont faits en plein hiver pour pouvoir satisfaire très tôt les marchés européens, on arrive à redouter, si surprenant que cela puisse paraître, les dégâts occasionnés par un abaissement brusque de la température.

Néanmoins, en ce qui concerne les arbres fruitiers et la vigne qui sont, dans la région du Bas-Rhône, dans leur milieu normal, on peut craindre pour certaines zones à méso-climat spécial (actions locales du relief, de l'altitude, de l'exposition, etc...), les effets des gelées printanières.

On a émis de nombreuses hypothèses sur l'action des gelées sur les tissus végétaux. Un fait semble acquis : pour qu'il y ait mort des tissus, il faut qu'il y ait formation de glace, qui, par action mécanique provoque leur déshydratation ; cet appauvrissement en eau, occasionne la mort des cellules par dessiccation. Si le refroidissement de la température est peu accentué (cas des gelées blanches), le nombre et l'importance des cristaux de glace formés restent faibles. Il n'y a, d'autre part, ni déchirures, ni lésion, au dégel, les cellules pourront reprendre leur eau de constitution primitive sans dégât.

Vers -3° à -4° , la déshydratation des cellules s'accroît et à ce moment l'influence du dégel peut jouer. S'il est rapide l'eau sortie du protoplasme s'écoulera à l'extérieur entraînant la mort par perte d'eau.

Au-dessous de -4° la plasmolyse des cellules peut devenir fatale quelles que soient les conditions du dégel.

Les gelées sont toujours plus dangereuses par temps humide car les tissus sont plus turgescents et les sucs cellulaires moins concentrés.

Étant donné les causes locales provoquant les gelées printanières, leur prévision ne peut se faire que sur place et non à grande distance par un organisme central. *Il faut qu'elle soit faite par des personnes*

connaissant parfaitement la région, d'où l'utilité d'avoir quelques données géographiques, climatiques et pédologiques.

Il faut également une entente parfaite entre les agriculteurs habitant les lieux où ces méfaits sont à craindre car on doit utiliser les moyens de lutte d'une façon collective et au moment voulu. Or, rares sont les cas où les cultivateurs d'une même localité se sont entendus pour agir contre une cause fortuite et dont les effets ne peuvent être prévus par précautions prises individuellement. Nous citerons toutefois, le Syndicat de Défense de Cavaillon (Vaucluse), qui sous la direction de M. Jules GRAND déjà cité, et avec six foyers par hectare, a obtenu dans le quartier du Petit-Palais, des résultats fort intéressants, en constituant ainsi un front unique contre le fléau.

Il nous est difficile de préconiser le choix de la méthode de prévision. Tel procédé est basé sur l'humidité de l'air, tel autre sur la température, tel autre enfin, sur la température du sol et le pouvoir réfrigérant de l'atmosphère. Tout cela dépend de la climatologie locale, par exemple dans un « pays » à humidité peu variable, les méthodes basées sur la température de l'air doivent donner de meilleurs résultats que dans les « pays » présentant de grands écarts d'humidité.

Il existe deux moyens de lutte, le premier consiste à limiter le refroidissement par des écrans de fumée et nuages artificiels interceptant le rayonnement nocturne (fumigènes spéciaux ou herbes mouillées, vieux pneus, etc...), le deuxième utilise le réchauffement de la couche inférieure de l'atmosphère pour effectuer un brassage de cette couche refroidie avec celle plus chaude, qui la surmonte. On opère au moyen de réchauds où l'on brûlait du coke et surtout du mazout, avant la guerre. Ces méthodes de lutte contre les gelées de printemps, dans la vallée rhodanienne, comme d'ailleurs dans le sud-ouest de la France, et qui méritaient encore des mises au point entre praticiens et techniciens, n'étaient pas encore très connues des producteurs de fruits de luxe, de primeurs et de vins fins.

Ceux donc qui désirent se livrer à ces spéculations ne doivent pas perdre de vue, suivant l'endroit où se trouve leur domaine, cette technique qui est malgré tout une des causes de bonne réussite.

3^e Aménagement rationnel des serres et châssis :

Les maraîchers qui confectionnent des couches pour leurs châssis afin d'obtenir des semis précoces, ou qui utilisent de petites serres pour la culture de certaines primeurs, ont donc à redouter également les sautes brusques de température que le mistral provoque dès fin janvier. Ils cherchent à lutter par ces moyens contre les risques de gelées.

Ces méthodes peuvent être améliorées. En effet, la protection contre les variations parfois subites de température n'est pas parfaite, ce qui retarde la germination de certaines graines comme celles de melon, tomate et aubergine qui exigent au moins 12 à 13° pour évoluer,

Nous avons pu mettre au point (21) un procédé permettant grâce à l'utilisation du chauffage électrique d'une part, et l'irrigation souterraine d'autre part, d'obtenir des semis sous châssis quelles que soient les conditions climatiques et l'époque de l'année.

Les avantages de ces deux techniques combinées sont susceptibles d'apporter les conditions extrinsèques optima d'une bonne germination des graines potagères, c'est-à-dire, une température constante, l'humidité la plus favorable et une bonne aération du sol.

La chaleur qui se maintient entre 20 et 23° C. est obtenue grâce à un fil chauffant électriquement le sol, placé en zig-zag à 20 cm. de profondeur. La distance entre les deux branches du fil est de 25 cm.

La consommation, qui est nocturne, atteint seulement 1 Kwh. par mètre carré. Ce procédé ne peut être appliqué que si les Compagnies d'Electricité consentent un prix du courant ne dépassant pas 0 fr. 30 le Kwh., bases de 1939.

L'humidité est maintenue à 20 % au moyen de l'irrigation souterraine, dont nous avons décrit le principe précédemment. Ce procédé évite les bassinages répétés qui modifient la structure superficielle du sol, qui augmente le degré hygrométrique de l'air et qui rendent les plants moins résistants aux maladies.

D'autre part, la chaleur absorbée par le sol est retenue plus énergiquement en profondeur grâce à la grande capacité calorifique de l'eau arrivant par voie interne.

Ce réseau souterrain d'alimentation en eau, constitué par une ou deux rangées de tuyaux en poterie, est placé juste au-dessous du fil électrique chauffant, soit à 30 cm. de profondeur.

Il importe pour avoir une réussite complète de prendre comme milieu sol, une terre franche, vierge, mélangée à un terreau aseptique (obtenu suivant la technique du fumier artificiel); il faut éviter de prendre, comme on a coutume de le faire, une terre provenant du curage des fossés d'arrosages, apportant toujours de mauvaises semences, certains germes pathogènes ou des insectes (taupins en particulier), ce qui annihile les avantages de cette méthode (précocité).

Résultats agronomiques :

1934. — Les semis de melons « Charentais » furent faits, le 13 mars pour quatre châssis. Deux d'entre eux étaient équipés avec le chauffage électrique et l'irrigation souterraine, les deux autres fonctionnaient suivant le procédé courant (arrosage à la main, sans chauffage). *La levée eut lieu le 19 mars pour les deux châssis chauffés électriquement et le 26 pour les deux autres non chauffés.* La germination s'opéra d'une façon beaucoup plus régulière en sol maintenu à 22-23°. *Le repiquage des plants de melons provenant des couches chauffées a eu lieu le 29 mars*, tandis que la mise en place des autres plants ne se fit que le 14 avril, soit plus de quinze jours de retard.

1935. — Les aubergines ont été semées le 9 janvier, la levée très régulière, a eu lieu dans le minimum de temps ; le repiquage se fit le 16 février dans la serre de grand modèle de notre champ d'expériences et dont le sol est également irrigué souterrainement. Le chauffage a duré cette fois-ci, étant fait en plein hiver, trente-cinq jours. Après repiquage de 275 pieds d'aubergines, on a mis par hectare 100 kilos d'azote (nitrate de chaux) par dissolution dans l'eau d'irrigation interne.

La première récolte a eu lieu le 18 mai (vente 30 francs la douzaine). Ce dernier prix a été maintenu jusqu'à l'apparition des premières aubergines sur le marché, vers la mi-juin. Nous avons donc obtenu une très grande précocité, tout en ayant des produits de première qualité.

Les essais faits en 1936 et 1937 (tomates et melons) sont venus confirmer entièrement les très bons résultats des deux premières années.

Cette méthode, parfaitement au point, mérite d'être vulgarisée, car elle rendra d'appréciables services à l'horticulteur et au maraîcher, à condition, et nous insistons sur ce point, de suivre exactement les trois principes de notre procédé, c'est-à-dire : *chauffage électrique, irrigation souterraine et utilisation de terre vierge et terreau aseptique.*

4° Cultures forcées :

La culture des plants à contre-saison oblige les maraîchers à employer des techniques particulières et certaines sont fort coûteuses (utilisation des diverses sources de chaleur). Savoir suivant les cultures, doser cette trinité, lumière, chaleur, insolation, c'est toute la science pour obtenir des primeurs avec le moins d'aléas possible.

a) Utilisation de la chaleur solaire :

Dans les serres et les châssis vitrés, les conditions de forçage tout au moins en France, sont souvent défectueuses.

On a adopté des dispositifs les plus simples et les moins coûteux nullement rationnels et sans tenir compte de ce que l'étude scientifique de ce problème, appliquée à la culture des primeurs et à l'arboriculture, aurait pu apporter d'utile à la pratique.

La plus grande fantaisie règne en effet, dans l'établissement des serres méridionales ; les unes sont petites, de section triangulaire et formées de deux châssis ajustés par le haut, d'autres couvrent d'assez grandes surfaces et ont leurs châssis placés, sauf celui de devant, presque horizontalement. Parfois, les serres sont toutes vitrées, d'autres (ce qui est préférable dans la région du Bas-Rhône) ont leur paroi « nord » établie au moyen de panneaux de bois ou de fibro-ciment. Enfin, on trouve également des modèles plus rationnels de grandes serres à châssis amovibles et à charpentes métalliques.

Mais, en général, il semble que dans la construction de ces serres, on se préoccupe peu des lois qui régissent la transformation de la lumière et de la chaleur ; on devrait tenir compte un peu plus

de la durée d'insolation, de l'intensité lumineuse, des phénomènes de conductibilité (sol), de rayonnement et de convection.

La quantité de chaleur et de lumière que le soleil apporte sur une unité de surface de sol, dépend de l'état hygrométrique de l'air, de la durée d'insolation et de son intensité, celle-ci varie avec l'inclinaison des rayons. La loi de LAMBERT nous apprend que cette intensité est proportionnelle au sinus de l'angle d'inclinaison. Elle est donc maximum à 90° et minimum pour les rayons à incidence rasante.

L'inclinaison des châssis vitrés dans une serre a donc une importance primordiale. RAYMOND, à Antibes, a montré, à la suite de nombreuses mesures faites avec le lucimètre de BELLANI dans une grande serre dont la plupart des châssis n'avaient qu'une inclinaison de 10° à 15° sur l'horizon que 30 à 45 % seulement des rayons solaires pénétraient dans cette serre suivant les époques.

En tenant compte de ces considérations et en prenant comme exemple, pour la région d'Avignon, la période la plus favorable, le mois de février où les rayons du soleil ont une inclinaison d'environ 36° , on voit en calculant d'après la loi des sinus, que, pendant la période active de l'insolation (de 10 heures à 14 heures solaires) le soleil déverse 4.000 grandes calories par mètre carré.

L'état hygrométrique de l'atmosphère joue également un rôle important. Plus faible est le degré d'humidité contenue dans l'air, plus élevé est le rayonnement. Dans la basse vallée du Rhône, on constate que ce sont les journées ensoleillées où le mistral souffle que l'énergie calorifique et lumineuse est la plus grande.

b) Chauffage à l'eau chaude ou à la vapeur d'eau (source de chaleur : le charbon.

L'emploi du thermo-siphon pour le forçage des asperges, date en Vaucluse, de 1900. Il s'est répandu jusqu'à la guerre de 1914.

La source de chaleur est l'anthracite que l'on brûle dans une chaudière ayant un foyer semblable à celui des poêles servant au chauffage central des immeubles, par circulation d'eau chaude. Des tuyaux spéciaux sont placés dans le sol à 40 cm. de profondeur.

Des batteries constituées par un ensemble de vannes permettent de changer périodiquement le sens de la circulation de l'eau chaude dans chaque circuit. La température de l'eau doit être portée au départ à 70° pour avoir autour des tuyaux placés en terre une température de 28 à 30°C .

Mais les inconvénients sont loin d'être négligeables ; il y a un mauvais rendement car on ne peut rapprocher suffisamment les tuyaux d'eau chaude du centre de la griffe d'asperge. Enfin, le prix de revient est très élevé.

c) Chauffage au moyen de couches artificielles :

On sait que les matières organiques des débris végétaux subissent des modifications biochimiques diverses et nous en verrons plus loin un exemple pratique (fumier de fabrication artificielle).

Ces modifications produites par oxydation et en utilisant les ferments de l'urée, se font au moyen de réactions exothermiques, dont on peut utiliser la chaleur pour la confection de couches de la même façon qu'avec le fumier de ferme ou le fumier de fabrication artificielle à base de paille.

C'est en étudiant la marche des fermentations de ces débris végétaux que nous avons pu retenir une série de matières premières pour cette fabrication artificielle des couches chaudes, tièdes et sourdes ; fourrage avarié, copeaux et frisure de bois, déchets de coton (*cascami di cotone*, appelé « *cascame* »). Ce dernier produit est couramment employé en Italie (Albenga) pour le forçage des asperges.

Résultats obtenus (1931 et début 1932). — Les essais ont été faits de la manière suivante dans un silo expérimental construit par nous :

On incorpore aux débris végétaux de l'urée à la dose de 5 kilos environ pour 1.000 kilos de matière première et on ajoute un peu de fumier frais, bien imbibé de purin ; on forme ainsi trois lits successifs que l'on tasse légèrement.

La quantité d'eau ajoutée a été, pour la paille, deux fois et demie son poids ; pour le fourrage avarié déjà humide, environ une fois et demie et enfin pour les copeaux de bois, frisure de bois et déchets de coton environ trois fois.

Paille. — La décomposition s'opère rapidement dans le silo ; la température atteint 70 à 75 dès les premiers jours et se maintient entre 65 et 70°. Au bout de 30 à 35 jours elle descend lentement vers 55°.

Si donc, au point de vue du *fumier de fabrication artificielle*, la paille présente un grand intérêt, on ne pourra l'utiliser *seule* pour la confection des couches artificielles, car malgré le coup de feu du début passé, la température se maintient trop élevée.

Copeaux de bois. — Les copeaux de bois en petits morceaux, fermentent d'une façon analogue à la paille : même marche de température et même durée de l'opération, on obtient un fumier plus homogène que celui provenant de la paille. La conclusion est la même au point de vue « couches artificielles ».

Frisures de bois. — L'opération du mouillage est plus délicate ; le tassement s'opère mal. La température de fermentation atteint à peine 50° et se maintient autour de 38°, en silo, pendant un mois environ. L'humification s'opère lentement. Ce produit présente un avantage, au point de vue de la confection de couches artificielles, car, incorporé à la paille ou aux copeaux de bois il diminuerait le « coup de feu » et allongerait la durée de la fermentation. On obtiendrait ainsi une *couche tiède artificielle*.

Foin et Fourrages avariés. — Nous entendons par ce produit la troisième coupe de fourrage, souvent perdue, en Provence, parce que l'on n'a pas pu la rentrer avant les pluies d'automne.

Ce foin, s'il n'a pas déjà subi, en tas, un début de fermentation, se comporte comme une excellente matière première pour la confection de couche artificielle (couche chaude). Après le coup de feu (vers 60°) la température se maintient en silo, durant un mois et demi, autour de 50°.

Déchets de coton (cascami di cotone ou cascame). — Ces déchets de coton proviennent, soit de l'effilochage des chiffons destinés à la fabrication de papier fin (le cascame utilisé pour nos essais), soit des rebuts de cardage du coton des filatures (cascame d'Albenga, Italie). Le produit apparaît sous forme d'une bourre cotonneuse à fibres très courtes, riches en poussière qui lui donne une couleur grisâtre.

Etudié en silo, dans les mêmes conditions que les autres produits que nous venons de passer en revue, le « cascame » se comporte de la façon suivante (Expériences du 2 février au 5 avril 1932) :

La température atteint en trois ou quatre jours, 48° — 50°, puis se maintient aux alentours de ces chiffres avec une régularité parfaite et sans *coup de feu*, durant deux mois ; le 3 avril la température descendit à 45°, le 4 à 40°, le 5 à 35°.

Nous avons donc là, un produit type pour la fabrication des *couches tièdes artificielles*.

En recoupant le tas de cascame, après ces deux mois de fermentation, on obtient encore un dégagement de chaleur assez sensible (25° à 30°) permettant de l'utiliser comme *couche sourde*.

Forçage des asperges par la fermentation des déchets de coton.

Le principe de cette méthode consiste à mettre sur le sol, complanté en asperges, une couche de déchets de coton, de 30 cm. environ d'épaisseur, que l'on arrose convenablement (trois fois son poids) et que l'on aère pour lui permettre de fermenter.

Ce produit extrêmement divisé offre une grande surface d'attaque aux bactéries et c'est ce qui explique la facilité avec laquelle elle entre en fermentation dès que son taux d'humidité le lui permet.

A Albenga, quand l'aspergeraie a trois ou quatre années, le maraîcher construit la serre. Vers la fin novembre, on incorpore à la terre une forte quantité d'engrais organiques et chimiques. Fin décembre, on place le cascame et le forçage commence. La récolte débute trois semaines après et dure deux mois.

— Le but de nos expériences de 1932 était de comparer entre elles les deux méthodes de culture forcée de l'asperge :

1° Culture sous serre avec utilisation de « cascame » comme couche tiède artificielle (méthode italienne).

2° Culture sous serre avec le thermo-siphon (couramment employée dans la vallée de la Durance (Lauris).

— Avec le thermo-siphon chauffant 800 mètres de bancs, la mise en marche a eu lieu le 7 décembre 1931. La première cueillette date du 7 janvier 1932, *soit trente et un jours après*.

Les essais avec le « cascame » ont commencé le 3 février 1932 et la première cueillette a eu lieu le 28 février, *soit vingt-cinq jours après*.

Le thermo-siphon a été arrêté le 22 mars, *soit après soixante-seize jours de cueillette*. On a récolté environ 950 grammes d'asperge poids net bottelé au mètre de banc.

Avec le cascame dans les essais du 28 février au 22 mars, *soit en vingt-quatre jours de cueillette seulement*, nous avons obtenu le même poids net au mètre courant.

La rapidité de la poussée des asperges avec le « cascame » est donc remarquable et elle a une action très marquée sur la production au point de vue de poids récolté dans une même campagne de forçage.

Le procédé au « cascame » donne, toutes choses égales d'ailleurs les avantages suivants, par rapport à la méthode au thermo-siphon :

1° Pas de mise de fonds d'installation ;

2° Rapprochement et même suppression des bancs d'asperges que l'on est forcé de distancer de plus d'un mètre à cause du buttage à la terre et du passage des tuyaux d'eau chaude. Donc, un rendement plus élevé par suite de la meilleure utilisation de la surface cultivée ;

3° Utilisation du « cascame » fermenté comme amendement humifère. Ce produit est même assez riche en azote.

5° Lutte contre la grêle :

Dans la région du Bas-Rhône, les effets de la grêle se font sentir dans les zones suivantes qui intéressent surtout les départements du Gard et du Vaucluse :

Un centre de formation d'orages a lieu dans les Cévennes sur le versant méridional des monts Aigoual et Lozère. On observe alors une marche des orages à grêle, d'une part suivant l'axe Lassalle - Sommières - Aigues-Mortes, d'autre part, suivant la direction de la vallée du Gard, d'Alès à Uzès et à Remoulins avec une dérivation à travers la garrigue vers la vallée de la Tave, jusqu'au Rhône. C'est probablement par cette voie que passent les orages ravageant le nord du Vaucluse, suivant l'axe Orange - Vaison.

Enfin, dans le pays d'Aigues (Basse-Durance), avec la Tour-d'Aigues comme centre, on rencontre encore une zone d'orages à grêle, plus localisée et d'origine méditerranéenne.

C'est après les terribles orages de fin août 1946 et grâce aux récentes expériences du Général RUBY, que les Directions des Services Agricoles organisèrent, dans toutes ces régions, un système de défense collective au moyen de fusées para-grêle (*), mais plus perfectionné que celui qui existait jadis en Bourgogne et en Beaujolais.

(*) Les fusées para-grêle lancent 500 grammes d'explosifs à 1.500 mètres afin de disloquer les courants ascendants, descendants ou tourbillonnants et d'empêcher ainsi le contact des nuages formant la grêle (cumulo-nimbus et cirro-stratus).

CHAPITRE II

RELIEF - EXPOSITION

HISTOIRE DE LA FORMATION DU RELIEF DU BAS-RHÔNE SON IMPORTANCE DANS LA GENÈSE DES SOLS ET SON RÔLE ACTUEL DANS L'ADAPTATION DES CULTURES

I. — Le relief et sa formation (Tectonique)

Le relief est loin d'être dans cette contrée du Bas-Rhône un facteur négligeable de la genèse des sols. Dans bien des cas, il modifie et même entrave leur formation. D'autre part, il influe sur d'autres facteurs importants, notamment le climat et la végétation, cette dernière subissant, ainsi que nous l'avons vu, des variations suivant l'altitude et l'exposition. Enfin, chaque « pays » du Bas-Rhône que nous avons décrit, au début de cet exposé, est défini par des caractères structuraux et une évolution morphologique qui lui est propre.

Voici donc quelles sont les grandes lignes du relief de la région du Bas-Rhône ainsi que son histoire :

Dans la basse vallée du Rhône, à la fin de l'Infracrétacé, la mer se retire vers le Nord (fosse voconciennne) et vers le Sud laissant une large bande de terre relier les deux vieux continents hercyniens, les Cévennes, au Nord-Ouest et le Massif des Maures et de l'Estérel, au Sud-Est. Il s'agit là d'un véritable seuil géologique que GIGNOUX (75) a appelé « Isthme Durancien ». Il occupe en effet, ainsi que nous l'avons dit, tout le cours actuel de la basse et moyenne Durance. Cette bande de terre qui constitue la plus grande partie de la région du Bas-Rhône, est restée émergée pendant des temps considérables, subissant bien des vicissitudes ; elle a résisté à des mouvements tectoniques importants et a été longtemps soumise à l'influence des phénomènes d'érosion subaérienne et d'accumulation. Coincé en

quelque sorte entre ces deux massifs hercyniens, cet isthme Durancien a reçu le choc des plissements pyrénéo-provençaux et des mouvements alpins.

Si nous examinons les déformations successives qui ont contribué à former le relief actuel, résultat d'une évolution morphologique bien particulière, nous remarquons tout d'abord, qu'à l'Albien, l'isthme Durancien a commencé d'abord à se bomber sous l'influence du plissement pré-pyrénéen, chaîne embryonnaire, première ébauche de la formation du pli pyrénéo-provençal. (HAUG 82.)

Le seuil Durancien a subi d'autre part, l'influence du soubassement hercynien du Massif Central, qui se traduit par l'apparition, entre les Cévennes et les Alpes, d'un faisceau d'anticlinaux et de synclinaux. Ces dépressions, ainsi formées sont toujours orientées du Sud-Ouest au Nord-Est, suivant la direction des cassures de la vieille chaîne hercynienne (ennoyage Tricastin, plaine d'Alès, dépression Roquemaure-Nîmes, gouttière tectonique du Rhône, fossé de la moyenne Durance). Voir la carte structurale ci-contre.

Les plissements pyrénéo-provençaux ont transformé la structure de l'isthme durancien et surtout sa bordure méridionale constituée par les Alpilles (*). Ces mouvements tectoniques ont donné une poussée du Sud au Nord et les ondulations sont orientées de l'Est à l'Ouest. Toutes les chaînes provençales se rattachent à ce système orogénique : Barre du Lampourdiér, Ventoux, Lure, Lubéron, Monts de Vaucluse, Massif des Baux (Alpilles), Trévarresse, Mont-Major, Sainte-Victoire, Sainte-Baume, Estaque, Etoile, etc.

Les premières déformations sensibles de l'isthme Durancien se manifestèrent par la délimitation de cuvettes et de dômes. Ces unités structurales résultent de l'interférence des deux directions de dislocations : la direction varisque des plis hercyniens (sud-ouest nord-est) et la direction pyrénéo-provençale (ouest-est), GEORGE (72). Toutefois ces deux forces de dislocations se sont équilibrées, formant ainsi une structure réticulée qui détermine la base du relief actuel.

A l'Eocène, nous entrons dans une période d'aplanissement continental, et tous ces plis d'origine pyrénéenne sont tronqués par l'érosion, mais les bassins d'ennoyage subsistent et présentent des zones de moindre résistance où s'accumulent les dépôts détritiques. C'est à cette époque que se sont produits les premiers phénomènes karstiques, dont nous reparlerons en détail. Nous verrons que l'hydrologie joue un rôle considérable dans la morphologie du calcaire.

— Juste avant la grande transgression miocène où la mer a laissé tant de sédiments dans la vallée du Rhône, toute la région est soumise aux mouvements tectoniques alpins, mais ceux-ci ne modifient pas sensiblement l'allure générale de l'isthme Durancien. En effet, les soulèvements de la chaîne des Alpes ont eu pour conséquence générale, la formation d'un relief d'anticlinaux et de syn-

(*) La dénomination « Alpilles ou Alpines » est tout à fait impropre. Nous préférierions les voir appeler « Massif des Baux ».

clinaux, orientés Nord-Sud, que nous ne retrouvons pas dans la région. Le modelé du Bas-Rhône n'a donc pas été sensiblement bouleversé par l'érection alpine en raison, sans doute, de ce que le seuil Durancien, peu plastique, affecté déjà par les fractures, n'était plus un milieu vierge de toute influence orogénique. Cependant le soulèvement alpin a eu comme résultat de faire rejouer les axes des plissements antérieurs ; les anticlinaux plus ou moins touchés par la période de pénéplation éocène, se sont relevés ; les synclinaux se sont enfoncés en accentuant l'ennoyage de certains bassins, celui des Baux notamment. Mais, si l'ossature structurale reste la même, les mouvements tectoniques alpins l'ont brisée en quelques endroits, suivant l'axe des anciennes cassures hercyniennes (Combe de Lourmarin dans le Lubéron — col de Lamanon où passa la Durance au début du Quaternaire).

Nous voyons donc que l'isthme Durancien a un relief très ancien et qu'il a été simplement rajeuni à l'époque du soulèvement des Alpes, en conservant l'essentiel des paysages qui avaient été modelés antérieurement.

Le Pliocène et le Quaternaire constituent de nouveau des époques d'aplanissement cyclique, dont l'œuvre est assez complexe, érosion alternant avec des phases de remblaiement dû aux rivières importantes et variations du niveau de base de l'époque glaciaire (spasmes eustatiques) ; la Méditerranée, mer instable a joué, depuis le Tertiaire, un rôle important dans l'évolution morphologique de cette région.

C'est ainsi que l'on assiste au Quaternaire récent à la modification du tracé du cours de la Durance. Abandonnant la Crau où elle a déposé ses alluvions à cailloux roulés, la Durance, par suite de l'encombrement du seuil de Lamanon, se fraye un passage à travers celui d'Orgon et commence à divaguer dans la plaine du Comtat et la région basse de Saint-Rémy. Elle rattrape le niveau de base rhodanien vers Avignon.

De son côté, le Rhône au moment où il formait la Costière du Gard obliquait vers le Sud-Ouest et aboutissait à la mer, sans doute, près de Montpellier.

A la fin du Tertiaire, le Rhône édifia la Crau d'Arles. Actuellement, les basses plaines de ce fleuve ne sont pas encore achevées, la Camargue notamment. Le Rhône, danger permanent pour ces plaines, a été endigué et pousse péniblement la conquête sur la mer, tandis que l'Homme essaie d'entreprendre la tâche énorme de terminer plus rationnellement le travail de ce fleuve, en drainant, irriguant et colmatant.

En résumé, le modelé actuel du Bas-Rhône est le suivant :

— Les plaines alluviales à limons gris dont la composition agrologique varie quand le Rhône s'approche des collines de sa rive droite (apports colluviaux) (vallées du Rhône et de la Durance).

— Les terrasses rhodaniennes ayant une topographie assez mouvementée avec des niveaux allant de 15 mètres (basse terrasse) à plus de 100 mètres (terrasse de Saze-Clary dans le Gard et Costière).

— Les collines mollassiques représentent dans le Bas-Rhône, les roches tendres. (Pays d'Aigues, Bassin d'Apt et de Carpentras.)

— Les plateaux et pénéplaines calcaires, souvent recouverts de sédiments étrangers (silex, grès, lœss, etc.) et de sols rouges. (Pays de Sault, Garrigue nîmoise, Plateaux ardéchois.)

— Les pentes calcaires avec les éperons structuraux et les éboulis.

La montagne calcaire proprement dite avec toutes ses formes karstiques (Lapiaz, Dolines, Avens, Poljés, Cañons.) (Ventoux, Lure, Lubéron, Monts de Vaucluse.)

*
* *

Ainsi, l'analyse de la structure du sol et de son influence, vers lesquelles se tournent de plus en plus les géographes français, suivant ainsi la forte impulsion donnée par le géologue autrichien (SUSS (145), nous permettra d'entreprendre une étude plus approfondie des formes de terrain si utiles à connaître, non seulement pour le Pédologue, mais aussi pour l'Agronome.

En effet, pour le Pédologue, l'influence de ces formes de terrain, si variées dans la région du Bas-Rhône a une grande importance. La morphologie peut entraver ou compliquer la genèse des sols. C'est ainsi que sur les collines mollassiques où la roche-mère est perméable et sur les pentes marno-calcaires où le ravinement se fait nettement sentir, les sols qui s'y trouvent sont toujours à l'état squelettique. A peine en voie de formation, ils sont détruits en partie par le ruissellement ; on a affaire à des « présols ».

D'autre part, les sols juvéniles des alluvions des plaines sont contrariés dans leur évolution pédologique par des apports colluviaux des collines voisines bordant le Rhône ou la Durance, sédiments qui peuvent être ou très argileux dans le cas des argiles plaisanciennes (plaine entre Saint-Gilles et Beaucaire), ou très sableux dans le cas des formations astiennes (vallée rhodanienne près de Roquemaure (Gard). D'ailleurs les lieuxdits de ces plaines évoquent par leurs noms, cette origine (Sablière, Tuilerie, etc.) La toponymie traduit bien les caractères physiques du sol à ces endroits.

— Pour l'Agronome l'importance de la morphologie, placée dans le cadre du milieu naturel, n'est pas moins grande. Voici deux exemples d'adaptation de cultures méditerranéennes.

1^o Lavande :

Une enquête sur le dépérissement de la lavande (*Lavandula vera*) en sols calcaires nous a permis de nous rendre compte de la sensibilité de cette plante vis-à-vis du milieu et, en particulier, de l'exposition. La lavande, en basse altitude ne prospère qu'à l'exposition nord (ubac) ou sur des plateaux bien dégagés.

2° Vignobles de crû :

Compte tenu des différences de macro et méso-climats, la vigne de qualité peut avoir une exposition au nord en basse Provence. (Palette près d'Aix). Elle prospère sur les coteaux longeant les deux rives du Rhône (expositions au levant et au couchant), tandis qu'au nord de Tournon (Ardèche), face à Tain l'Hermitage, et jusqu'en Alsace, en passant par les « Côtes-Rôties », le Beaujolais, la Bourgogne, seule l'exposition face au levant est utilisable.

CHAPITRE III

LES SOLS

L'importance de l'étude du sol passa longtemps inaperçue. Si un précurseur, comme Olivier de SERRES, dans son remarquable « Théâtre d'Agriculture & Mesnage des Champs » a fait ressortir tout l'intérêt de « bien connaître ses terres » (Livre I^{er}), on peut avouer qu'en Agriculture on se contentait de méthodes empiriques et l'effort des chimistes s'occupant de l'analyse des terres, n'a abouti, même durant ces dernières années, qu'à des résultats souvent insuffisants. En fait, on n'a pas tenu compte des études susceptibles de bien comprendre les phénomènes propres « au milieu sol » et à sa dynamique.

Le sol, jusqu'à ces dernières années, était considéré comme une substance inerte. Pour beaucoup de citadins, la terre des champs est une matière malpropre, boue en hiver, poussière en été ; pour un grand nombre d'agriculteurs, la terre arable n'est qu'un support fournissant aux plantes le logement de leurs racines, et une importante partie de leur nourriture.

Les travaux modernes d'Agronomie sont venus modifier profondément les anciennes conceptions qui faisaient du sol un support étudié uniquement à l'état statique.

Déjà RISLER (133) avait compris la nécessité d'une doctrine dans l'étude du sol, lorsqu'il disait à ses élèves de l'Institut National Agronomique : « Lorsque vous saurez d'où la terre vient, vous serez près de savoir ce qu'elle est. »

A la fin du siècle dernier, l'école russe avec DOKOUTCHAIEF, donna une importance particulière à l'étude du sol et créa cette nouvelle science que l'on appelle la *Pédologie* (de *pedos* ; sol et *logos* ; discours, science).

De ce fait, la définition la plus exacte et la plus complète du sol est certainement celle que donne DEMOLON (49) : « Le sol est « la formation naturelle de surface, à structure meuble et d'épaisseur « variable, résultant de la transformation de la roche-mère sous-jacente, « sous l'influence de divers processus physique, chimique et biologique. Il convient de prendre ici l'expression « roche-mère » dans

« son sens le plus général, cette roche pouvant être une formation « meuble. »

On voit donc que la Pédologie ne désigne pas l'ensemble de la science du sol ; ce n'est qu'une partie de cette science (*), celle qui s'occupe spécialement de la structure, de la genèse et de l'évolution du sol. Ce n'est donc plus qu'un chapitre de l'étude du sol à côté d'une part, de son origine (Roches-Mères, Géologie), de sa vie (Conservation des sols), d'autre part, de la physique, de la chimie, de la microbiologie et de la fertilité du sol (Dynamique des sols).

— Tout comme la Géologie, la Pédologie est une *science d'observations et d'expérience*. C'est l'accumulation des faits d'observations, leur comparaison, qui permettent de formuler des hypothèses expliquant la genèse des sols et leur évolution (20).

§ I. ÉTUDE DES ROCHES-MÈRES

I. — Les Roches-Mères au point de vue géologique

L'étude des roches-mères telle que nous la concevons nous éloigne de la classification géologique qui a recours surtout à la stratigraphie et qui, grâce à la paléontologie, a pu grouper les divers terrains suivant leur âge respectif. Or, ce qui importe pour nous, c'est de savoir si la roche est un grès, un sable, une marne, un calcaire dur, un calcaire tendre, etc... mais nous attacherons beaucoup moins d'importance à savoir si par exemple le calcaire est du Précambrien ou du Miocène.

Il importe, par conséquent, de connaître la composition des Roches-Mères, afin de pouvoir suivre la transformation et la migration des minéraux qui les caractérisent.

*
* *

Nous donnons dans le tableau ci-après, pour le Bas-Rhône, la nature des roches-mères que l'on rencontre dans les différents étages géologiques, du début du secondaire jusqu'au quaternaire, car il importe néanmoins de compléter leur « état civil » par les désignations des géologues stratigraphes. (MARCELIN (98).)

Pour plus amples détails, on voudra bien se reporter aux ouvrages spéciaux et aux cartes géologiques (feuilles de Privas, Orange, Avignon, le Buis, Forcalquier, Arles et Aix).

(*) JOFFE (88) fait la distinction entre *Science of Soils* (Pédologie) et *Soil Science*.

Ères et Époques	Etages géologiques	Roches-mères
Quaternaire	Holocène Pleistocène.....	Limons fluviatiles. Limons éoliens (lœss). Cailloutis-diluvium.
Tertiaire : Pliocène.....	Villafranchien (Calabrien) . Astien .. { Supérieur { Inférieur Plaisancien.....	Cailloutis-diluvium. Sable et grès. Marne sableuse. Marne et argile.
Miocène	Sahélien } Vindobonien : Sup ^r Tortonien..... Inf ^r Helvétien Burdigalien : Supérieur..... Inférieur	Cailloutis-conglomérats. Limon et marne rouges. Mollasse calcaro-sableuse et marne. Mollasse sableuse et argileuse. Mollasse calcaire. Marne blanche. Mollasse sableuse.
Oligocène	Aquitanien (Chattien)..... Stampien Rupélien Lattorfien	Calcaire gris. Marne sableuse rougeâtre. Argile jaunâtre. Calcaire blanc. Marne à lignites. Calcaire en plaquettes. Marne blanche. Marne-conglomérat. Grès mollassique. Calcaire marneux. Calcaire à lignite. Calcaire marneux.
Eocène	Ludien Bartonien..... Lutétien..... Yprésien Landénien : Spartiatien Thanétien..... Montien.....	Marne verdâtre. Gypse. Calcaire marneux. Marne jaune. Grès. Calcaire. Sable bigarré. Marne. Série absente dans le Bas-Rhône. <i>Idem.</i> <i>Idem.</i> Série absente.
Secondaire : Crétacé supérieur	Danien Sénonien : Rognacien..... Bégudien Fuvélien Valdonien Santonien Conacien..... Turonien : Angoumien..... Ligérien Cenomanien Vraconien	<i>Idem.</i> Calcaire rosé. <i>Idem.</i> Calcaire marneux rougeâtre. Calcaire. Sable. Argile. Schiste bitumeux. <i>Idem.</i> Calcaire dur. Grès d'Uchaux. Marne. Calcaire compact. Calcaire dur. Sable. Grès rouges.

Ères et Époques	Étages géologiques	Roches-mères	
Crétacé inférieur .	Albien ..	Supérieur Grès ferrugineux. Sables rouge et jaune.	
		Inférieur Sable glauconieux. Marne sableuse. Grès sableux.	
	Aptien...	Gargasien Marnes. Sable vert.	
		Bédoulien Calcaire marneux.	
	Urgonien (faciès récifal) ...	Calcaire compact.	
	Barrémien.....	Calcaire compact et marneux. Calcaire à silex.	
	Néocomien	Hauterivien	Calcaire compact et marneux.
		Valanginien	Calcaire marneux et marne.
	Berriasien	Calcaire marneux.	
Jurassique supérieur.....	Portlandien.....	Calcaire compact ruini-forme.	
	Kimmeridgien	Calcaire gris compact.	
	Lusitanien	<i>Idem.</i>	
	Oxfordien.....	Marne.	
	Callovien	Marne. Calcaire marneux.	
Jurassique moyen	Bathonien	Calcaire marneux.	
	Bajocien	Calcaire jaune à silex.	
Jurassique inférieur (Lias).....	Aalénien	Calcaire noir.	
	Toarcien	Calcaire noir ferrugineux.	
	Charmouthien.....	Marne grise. Calcaire siliceux.	
	Sinémurien.....	Calcaire gris compact. Calcaire dolomitique.	
	Hettangien	Calcaire et marne.	
Rhétien			
Trias.....	Keuper	Marne et gypse.	
	Muschelkalk.....	Marne. Grès bigarré. Calcaire dolomitique.	
	Grès bigarrés	Grès.	

II. — Désagrégation et destruction chimique des roches

Les différents processus de corrosion des roches précèdent la formation des sols ; la pédogenèse, en effet, ne commence qu'avec l'apparition de la vie. A ce moment, les éléments biologiques dus à la végétation (humus surtout) viennent modifier la nature et le rythme des processus physiques et chimiques (phénomènes géogéniques et biogéniques).

Il importe donc de connaître les phases principales de la dégradation physico-chimique des roches géologiques initiales, dès leur apparition dans la lithosphère. En effet, au cours de ces désagré-gations, certains éléments résiduels peuvent être mis à jour et parfois entraînés à quelques distances. Il y a ainsi formation d'une roche-

mère, car elle est sans structure en agrégats, et sans humus ; la pédogénèse la transformera ensuite en sol.

C'est ainsi qu'une *roche calcaire dur* peut donner :

1° Ou bien des éboulis par action mécanique sur les pentes, que la pédogénèse transformera en sol rendziniforme (rendzines grises ou noires) ;

2° Ou bien par *décalcification*, *kaolinisation* et *ferrugination* (rubéfaction) dans les cavités karstiques, un complexe argileux mélangé à divers éléments détritiques ; le tout constitue une roche-mère (terres rouges) donnant naissance à un sol rouge, brun ou noir (action de l'altitude et de la végétation) (zonalité verticale).

Ces mêmes phénomènes de *décalcification*, de *kaolinisation* et de *ferrugination* peuvent s'observer dans la décomposition des granites, des gneiss et des schistes (roches géologiques n'existant pas dans la basse vallée du Rhône), et également dans les alluvions à cailloux roulés des terrasses glaciaires ou fluviatiles. Il y a formation d'une argile résiduelle complexe, véritable roche-mère également, appelée *ferretto* dans le cas des moraines et *diluvium* dans celui des alluvions anciennes.

Ces mêmes phénomènes de corrosion s'observent aussi, dans la région que nous étudions sur les grès calcaires, sur les sables calcaires, sur la mollasse et enfin sur le lœss. Toutefois, il arrive, du fait de la composition de certaines roches initiales, que la décalcification, la kaolinisation et la ferrugination se manifestent avec des degrés d'évolution plus ou moins nets. Il est donc intéressant de connaître la modalité et l'intensité de ces trois processus d'altération dans les cas qui nous intéressent.

1° Décalcification :

La décalcification est un phénomène général.

L'attaque de la roche (durée et puissance) diffère :

1° Suivant la nature des éléments contenus dans les eaux (gaz carbonique, carbonate et sulfates) ;

2° Suivant la nature de la roche.

La réaction de l'eau est également à considérer. Il va de soi que celles qui circulent dans les arènes granitiques ou gneissiques ont une réaction acide, et que celles qui circulent dans les roches marno-calcaires désagrégées ont des réactions alcalines, mais, dans les cavités karstiques, après avoir déposé les stalactites ou les stalagmites, l'eau qui se trouve en contact avec la masse d'argile décalcifiée des fonds des grottes et des avens, tendrait vers une réaction légèrement acide ; elle serait donc susceptible d'avoir de nouveau un pouvoir d'attaque appréciable. Cette conception émise par MARCELIN (100) est basée sur l'examen des pH de l'eau et des argiles de l'aven d'Orgnac (Ardèche). Il est de 8 pour le sol rouge de surface et devient plus faible en profondeur ; il n'est que de 7,34 pour l'eau des cavités argileuses. D'autre part, MARCELIN et de JOLY (103) ont observé

des cas de corrosion que présentent des stalactiques enrobées dans l'argile et « en train de mourir », observation qui concorde avec celle des préhistoriens constatant la disparition des ossements en régions acides granitiques ou schisteuses alors que les sépultures en terrains calcaires conservent parfaitement les squelettes.

Quelle que soit la nature de la roche considérée, l'altération de celle-ci est toujours précédée et aidée par la fissuration. Dans le cas des calcaires marneux, des marnes, des mollasses, des grès, celle-ci n'est pas très profonde, et la désagrégation *en surface*, multipliant la puissance d'attaque, se fait sentir rapidement. Au contraire, dans les calcaires compacts la fissuration se propage dans la masse ; les blocs se séparent, les fissures où pénètrent les racines s'élargissent et se remplissent de matériaux divers. La corrosion ici, se fait surtout *en profondeur*, dans les innombrables cavités karstiques dont il sera question plus loin. Dans ce cas, la puissance d'attaque est due surtout à l'action du *micro-climat spécial*, qui règne dans ces cavités où il existe, en effet, une humidité constante. MARCELIN (100), qui a parcouru un assez grand nombre de grottes, a constaté par exemple, que dans la petite salle de la grotte de Campfiel, près de Nîmes, dans le cañon du Gardon, l'eau ne cesse de ruisseler sur les parois, ou au moins de les mouiller, même quand l'été méditerranéen sévit en surface depuis plusieurs semaines. Par conséquent, on arrive, en ce qui concerne la corrosion du calcaire, à transporter, pour ainsi dire le phénomène d'un pays « sec » à eaux alcalines (*en surface*), à un pays « humide » à eaux acides (*en profondeur*).

Le micro-climat humide des cavités karstiques trouve son équivalent dans ce climat du sol de la zone des roches silicatées (alluvions fluviatiles anciennes, terrasses), située à la limite du balancement des nappes phréatiques, où se produisent ces mêmes altérations. Ce « dynamisme interne » qui s'établit ou qui s'établissait ainsi, dans certaines alluvions, a été mis en évidence par SCAETTA (139). J. de LAPPARENT (95) signale également que la corrosion des roches granitiques, leur kaolinisation entre autres, est également l'œuvre de l'air humide.

2° Kaolinisation :

On sait que les roches qui contiennent soit des feldspaths, soit des silicates basiques sont attaquées par les eaux chargées de gaz carbonique ; il se forme des carbonates ; les silicates alumineux donnent naissance par hydrolyse, à un produit dont le type pur est le kaolin, d'où le nom de kaolinisation.

Cette dissociation augmente considérablement avec la température, ce qui explique l'intensité des phénomènes d'altération sous les tropiques. C'est ainsi que dans les cas de l'altération *latéritique* (allitique), l'hydrolyse aboutit à une élimination de silice et d'alumine, ce que l'on n'observe pas dans le cas de l'altération argileuse (sialitique). Dans nos régions tempérées, elle s'arrête au stade de silicates d'alumine hydratés, avec un pourcentage plus ou moins grand de bases transformées en hydrates.

Les expressions d'altérations allitique ou siallitique données par HARRASSOWITZ (81), semblent préférables à celles d'altérations latéritique et argileuse, car dans le premier cas, le mot latérite a été employé un peu à tort et à travers. Bien des gens appellent ainsi tous les sols tropicaux qui sont rouges. Il y a là une erreur du même ordre que celle que l'on commet au sujet des sols rouges méditerranéens. Enfin, dans le deuxième cas le mot « argile » évoque un aspect particulier et des caractères particuliers. Là encore, il risque d'y avoir des confusions.

Enfin, dans l'altération siallitique, on obtient des argiles géologiques de composition variable et contenant presque toujours des éléments de quartz. C'est ce que l'on observe dans la « Terra Rossa » des géologues, argile résiduelle du calcaire. Elle est de formation continentale et métasomatique, ce qui la distingue d'autres formations rouges marines ou d'eau douce, qui sont diagénétiques en même temps que métasomatiques. De plus, cette « terra rossa » se rencontre très rarement à l'état pur (*), mais presque toujours mélangée à des éléments détritiques divers. C'est ce complexe qui constitue les « Terres Rouges » celles-ci sont sans structure et sans humus ; elles constituent ainsi une roche-mère. C'est d'une façon analogue que se sont formées l'argile à blocs des moraines (*ferretto*) et l'argile des terrasses fluviales (*diluvium*).

La kaolinisation, précédée de la décalcification, s'observe également, et d'une façon très nette, sur certains grès du Cénomaniens dans la région d'Orange et d'Uchaux (Vaucluse), sur des grès du Trias, près d'Alès (Gard) et sur ceux du Santonien, à Saint-Cyr (Var).

Groupes d'argiles d'après leur structure :

Paramètre $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$.

< 2.....	Groupe de l'Hydrargillite.				
2 à 3.....	<table> <tr> <td>{</td><td>Groupe de la Kaolinite.</td></tr> <tr> <td>{</td><td>Groupe de la Montmorillonite, Beidellite et Nontronite.</td></tr> </table>	{	Groupe de la Kaolinite.	{	Groupe de la Montmorillonite, Beidellite et Nontronite.
{	Groupe de la Kaolinite.				
{	Groupe de la Montmorillonite, Beidellite et Nontronite.				
> 3.....	<table> <tr> <td>{</td><td>Groupe de la Bravaisite et de l'illite.</td></tr> <tr> <td>{</td><td>Groupe de l'Attapulgitte et de la Palygorskite.</td></tr> </table>	{	Groupe de la Bravaisite et de l'illite.	{	Groupe de l'Attapulgitte et de la Palygorskite.
{	Groupe de la Bravaisite et de l'illite.				
{	Groupe de l'Attapulgitte et de la Palygorskite.				
> 5.....	Groupe des Sepiolites.				

D'après HENIN (84) les sols rouges méditerranéens issus des « Terres Rouges » contiennent les mélanges de Kaolinite, d'illite et peut-être d'Attapulgitte.

(*) MARCELIN (101) en a trouvé dans la grotte des Fées, près de Nîmes et nous-mêmes, dans des poches superficielles du calcaire compact du versant nord des Alpilles et sur le plateau de Saint-Christol.

3° Ferrugination :

Le Fer joue un rôle important dans les processus géologiques et pédogéniques (OUDIN (121)). Son état et sa coloration constituent un des caractères les plus frappants de cette argile résiduelle du calcaire, ainsi que les éléments détritiques qui l'accompagnent et dont l'ensemble constituent les « Terres Rouges ». Tous les auteurs ont admis la présence d'oxyde de fer dans les calcaires ; certains signalent le carbonate de fer, la pyrite, la magnétite, la limonite (CAYEUX (33)). Si l'on examine les nombreuses analyses de calcaire de formation et d'origine différentes, faites par DIENEMAN et BURE (55) on découvre, en général, que ces calcaires sont d'autant plus riches en fer qu'ils possèdent moins d'éléments non carbonatés.

Pour BRAJNIKOV (31), la décalcification est accompagnée de l'oxydation du fer ferreux et de la glauconie et serait cause du phénomène de rubéfaction. AGAFONOFF (2) fait intervenir un mécanisme colloïdal et REIFENBERG (130) fait jouer à la silice colloïdale un rôle important de colloïde protecteur.

L'évolution des sels de fer, dans les roches ou dans les sols et la rubéfaction qui en est la conséquence, constituent un phénomène général des sédiments décalcifiés. DEMOLON (47) l'a étudié sur les limons quaternaires et les argiles de décalcification de la craie. Cet auteur a mis en évidence avec BASTISSE (51) la formation et le rôle d'un complexe ferri-silicique dans les micelles argileuses. Grâce à la théorie de la migration de ce complexe, le phénomène de rubéfaction, qui a une importance primordiale dans la genèse de bien des sols méditerranéens, devient très compréhensible et a pu être reconstitué au laboratoire.

Nous avons vu que les saisons des pluies sont, dans la basse vallée du Rhône très marquées et nettement séparées par des périodes sèches, chaudes ou froides. Ce facteur climatique joue, dans le processus de la migration du fer, un rôle essentiel. Voici ce que l'on peut constater sur les terrasses anciennes fluviales du Rhône : une première conséquence des pluies a été un lavage provoquant l'élimination, presque totale, des sels solubles, la chaux en particulier (eau chargée de CO_2), et l'entraînement de l'argile résiduelle. La formation du complexe ferri-silicique se produit dans les micelles argileuses et durant la période sèche suivante, se diffuse dans la zone superficielle en partie décalcifiée. En été, sous l'influence de l'évaporation à travers les horizons superficiels, de structure grenue, la séparation du fer et de la silice se produit. Le fer s'insolubilise sur place, par dessiccation, et colore le sol en rouge. La silice est entraînée en profondeur, en même temps que les bases terreuses, au moment de la deuxième période pluvieuse. Elle est prête à reformer de nouveau, à la saison suivante, le complexe ferri-silicique. Quand les éléments de remplissage sont plus calcaires que siliceux (alluvions anciennes de la Durance), la migration des sels de fer n'a pas lieu et une teinte grise uniforme colore ces terrasses, non encore décalcifiées.

Telles sont les réactions physico-chimiques qui régissent ces trois processus primordiaux de la décalcification, de la kaolinisation

et de la ferrugination. Ainsi, apparaît toute l'importance de l'étude des roches-mères ; en effet, la roche-mère est le point de contact, la liaison entre la « Science des Roches » et la « Science du Sol ». Faire, en France, de la Pédologie sans avoir des notions sur le faciès des roches, sans avoir un aperçu sur la composition et la nature des constituants de celle-ci et surtout sur les différents processus de leur dislocation et de leur migration, c'est en quelque sorte « mettre la charrue avant les bœufs ». L'histoire de l'évolution des roches initiales, comprenant les phénomènes géogéniques de « métamorphisme externe » agissant plus profondément que les processus biogéniques de la Pédologie proprement dite, et chevauchant parfois sur eux, nous paraît donc être un travail préliminaire indispensable à toute étude régionale des sols.

III. — LES ROCHES-MÈRES ET LEURS PHÉNOMÈNES GÉOGÉNIQUES

Une première roche va retenir particulièrement notre attention, c'est *le Calcaire*, d'abord parce qu'il occupe dans la région du Bas-Rhône, une place très ancienne, et qu'ensuite la morphologie du paysage se trouve parfois profondément modifiée par l'effet de la corrosion de cette roche.

1° **Le Calcaire :**

a) *Le calcaire compact :*

Le calcaire, comme toutes les roches placées, par suite des vicissitudes des mouvements orogéniques, à la surface de la lithosphère, est soumis, d'une façon constante, à d'énergiques modifications d'ordre mécanique et chimique (*).

Les « phénomènes du calcaire ».

On sait que les régions calcaires présentent une série de formes, aujourd'hui bien connues, qui se présentent dans tous les pays du monde avec les plus grandes analogies et que pour cette raison, le spéléologue MARTEL (104) a proposé d'appeler « *phénomènes du calcaire* ». Les géologues et les géographes les appellent plus couramment : *phénomènes karstiques*. C'est, en effet, dans le Triestin (Karst ou Carso) qu'ils ont pris une ampleur considérable (voir en particulier les travaux de CVIJIC (44). Ils sont très bien représentés dans la région du Bas-Rhône où ils ont été étudiés par MARTEL (104-105),

(*) Il existe dans le Bas-Rhône des zones de mylonitisation du calcaire, résultat du broyage tectonique où l'altération de la roche est plus intense (pointements urgoniens de la dépression d'Alès, Montagnette occidentale en face d'Aramon, environs de Nîmes, etc...).

MAZAURIC (110) et par de JOLY (103), de même que par BAULIG (8) et GEORGE (72) pour leur interprétation géographique.

Les calcaires de toutes les époques géologiques, peuvent subir ces altérations.

Ces phénomènes du calcaire sont dus à quatre causes principales :

- Erosion mécanique ;
- Dissolution chimique ;
- Effondrements internes ;
- Dislocation tectonique.

Erosion mécanique et dissolution chimique (effets).

L'action dissolvante des eaux météoriques, dont nous avons étudié plus haut le mécanisme, donne au calcaire un modelé particulier : *lapiaz*, *champs de pierres*, *dolines*, *grottes*, *avens*.

L'eau circulant sur le calcaire à peu près complètement dénudé y sculpte de petites rigoles séparées par des arêtes ciselées. Tel est l'aspect de ces *lapiaz* ou *lapias*, appelés aussi « rascles » en Provence, et dont on peut observer d'assez belles formes notamment sur les hauts plateaux vaclusiens (à la Gabelle, Saint-Jean) et sur la rive droite du Rhône, dans les garrigues du Gard, etc... Mais les pluies, sous le climat méditerranéen, sont rares et violentes, aussi les contrastes climatiques souvent brutaux, activent-ils la désagrégation mécanique, en transformant ces *lapiaz* en véritables champs de pierres, que l'on rencontre surtout à une certaine altitude, au Ventoux notamment. Toutefois, les *lapiaz* continuent à se former sous cette pierraille. Là où l'eau peut se rassembler l'attaque est plus forte, de véritables entonnoirs se forment, ce sont des *dolines*, appelées « *sotch* » dans les Causses, qui, à certains endroits, en relation avec les effondrements internes, se transforment en « *avens* » (*). Ceux-ci sont nombreux dans le massif calcaire de l'Isthme Durancien. La plupart se trouvent dans les cantons de Sault (Vaucluse) et de Banon (Basses-Alpes). Ces abîmes forment, avec les nombreuses fissures et diaclases de la région, les points d'absorption des eaux pluviales qui, s'emmagasinant et s'écoulant par les cavernes, arrivent aux points d'émergence (résurgence ou exsurgence) telles que les fontaines de Vaucluse, du Groseau, de Nîmes, de Fontaine-l'Évêque, etc...

Nous pourrions répéter, à propos des grottes, ce que nous venons de dire des *avens*. Elles sont innombrables et nous n'en connaissons encore bien peu. Tous les cañons de l'Ardèche, de la Cèze, du Gard, de la Nesque, du Verdon, ainsi que leurs vallées affluentes, toutes les falaises calcaires comme celles du Bouquet, de Roquemaure, etc... montrent des quantités d'ouvertures dont l'étude a été faite par les spéléologues et les préhistoriens.

(*) Appelés : embut, bétoire, pot, goule, scialet, ponor, suivant les pays.

Deux formes de surface, bien caractéristiques du modelé de ces régions calcaires, se trouvent représentées de part et d'autre du Rhône. Elles sont dues, soit à l'érosion normale, soit à l'érosion souterraine ; ce sont les *cañons* et les *poljes* qui donnent aux régions calcaires une topographie si particulière.

Les cañons forment des gorges profondes qui s'enfoncent dans le massif calcaire. Ils sont dus, à la fois, à l'érosion normale et à l'érosion souterraine (Cèze, Ardèche, Gardon, sur la rive droite du Rhône, et Nesque et Verdon sur la rive gauche).

Les poljés ou bassins fermés sont de véritables vallées mortes, inachevées, soit par des causes tectoniques, soit par les effets d'une infiltration subitement suspendue ou très diminuée, MARTEL (104).

Certains poljés peuvent n'être que la réunion d'un chapelet de dolines dont les barres séparatives ont disparu.

D'après BAULIG (9) ces dépressions, dont certaines occupent un fossé tectonique, se sont formées par soutirage des matériaux (cryptopoljé). Il s'agit d'une forme d'érosion régressive, supposant un réseau souterrain développé. Quelques poljés ou dolines sont périodiquement inondés (Vercors, Jura, Causses) ; d'autres le sont constamment (lacs karstiques de Dalmatie). Dolines et poljés se rencontrent sur toute les surfaces calcaires de notre région. On peut, peut-être, leur comparer d'autres bassins fermés, tels que ceux de Jonquières, Saint-Vincent, les anciens étangs de Pujaut et de Traslepuys (Gard), et la dépression des Baux (Bouches-du-Rhône). On en retrouve dans les Monts de Provence, à Cuje, Aubagne, la Roquebrussane, etc.

Effondrements internes et dislocation tectonique.

Nous venons de voir que la genèse des *cañons* et des *poljés* est due à l'action dissolvante des eaux pluviales et à celle de l'érosion mécanique ; on doit faire intervenir encore des phénomènes d'origine plus profonde : effondrements internes (traumatismes karstiques), qui s'expliquent par la circulation continue des eaux souterraines, provoquant de temps à autre l'écroulement des cloisons ou la chute d'un plafond. Il se produit ainsi des changements de condition dans la circulation de l'eau ; des pressions nouvelles s'exercent donnant naissance à des accidents souterrains, ébranlant ainsi toute la masse calcaire. C'est sans doute là, l'origine des petits tremblements de terre locaux que l'on observe, de temps à autre, dans le Gard et la Drôme.

MARCELIN (99) après une étude minutieuse de ces phénomènes dans le Gard, a conclu à cette hypothèse, pour un certain nombre de cas.

Le cycle d'évolution morphologique du calcaire, avec ses différentes formes ainsi que l'a décrit GRUND (80), peut-être plus ou moins rapide. En ce qui concerne le seuil Durancien, le modelé superficiel sur les plateaux est le résultat d'une évolution relativement récente (lapicization actuelle, faisant suite aux périodes anciennes

d'aplanissement), tandis que les formes souterraines semblent très développées et d'origine très ancienne. C'est ainsi que l'on trouve, comme à Thouzon (Vaucluse) des grottes très vastes sur un « hum » minuscule, butte témoin perdue actuellement au milieu de la plaine alluvionnaire de la Sorgue.

C'est pourquoi GEORGE (72) a été amené à la conception d'un karst polycyclique :

« Le bloc calcaire, dit cet auteur, a commencé à être entamé à « une époque où son sommet était bien au-dessus des surfaces « actuellement visibles. Mais son évolution a été interrompue par « les mouvements positifs du niveau de base, et le calcaire a pu « même être enterré. Porté aujourd'hui à une grande altitude au- « dessus de zéro, il tend à reprendre son ancienne évolution. » Cette conception d'un karst polycyclique amène à réviser, d'après GEORGE, les vues que l'on se faisait des phénomènes karstiques de notre région. En effet, ils retardent considérablement l'usure des formes calcaires qui ne peut se faire que par écoulement des couches supérieures, par le bas et non par le haut. Ils conservent donc à la surface, tout ce qui est resté de toute la série des terrains variés qui ont pu recouvrir les calcaires.

La genèse des « terres rouges » (roches-mères).

Le domaine karstique est le lieu d'élection de la disparition du calcaire, et, comme conséquence, celui de l'accumulation de sa partie insoluble qui s'est formée, ainsi que nous l'avons vu, sous un micro-climat humide, suivant le processus de la décalcification, de la kaolinisation et de la ferrugination. Il s'agit d'ailleurs d'un complexe colloïdal, formé d'argile, de silice et de silicates. C'est la *Terra-Rossa* des Géologues. En outre, elle se trouve encore mélangée à des éléments détritiques étrangers au calcaire qui l'ont recouvert à différentes époques géologiques (débris de couvertures lœssiques, pisolithes, limonites, grès siliceux, etc.).

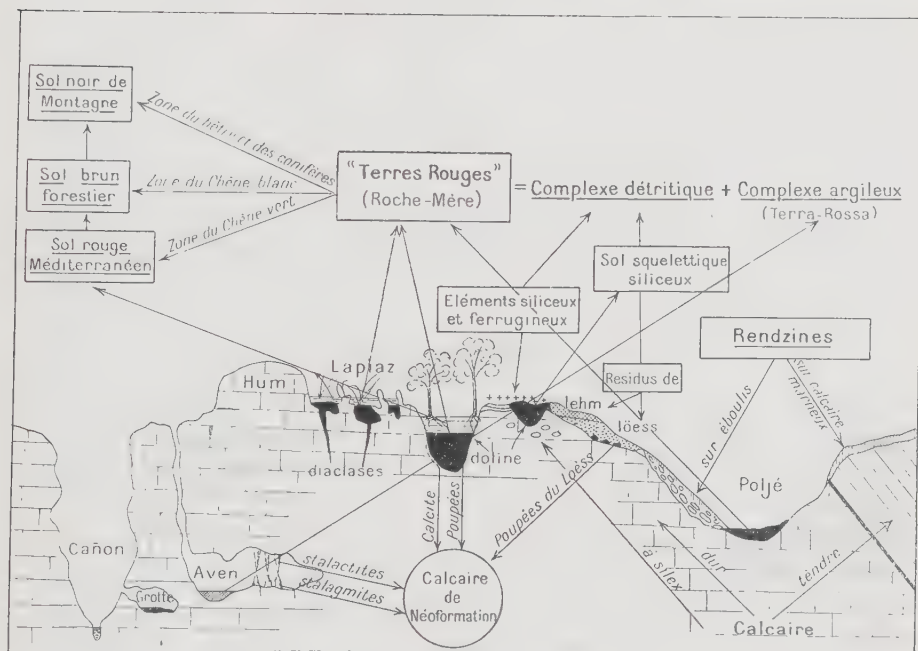
Les restes d'une couverture lœssique recouvrent par endroits les garrigues du Gard des environs de Nîmes et d'Uzès, ainsi d'ailleurs que les terrasses quaternaires des Costières et les sables de l'Astien de la région de Tavel (Gard).

Nous trouvons encore un autre groupe de matériaux résiduels sur la garrigue, et qui sont aussi étrangers aux lœss qu'aux calcaires, ce sont des quartz roulés, des quartzites, des grès siliceux et ferrugineux et enfin, des limonites roulées noires et luisantes, parfois à l'état de pisolithes. Ce sont des produits de démantèlement, avec transport variable de dépôts anciens aujourd'hui disparus et que les géologues appellent le sidérolithique (*). Ils peuvent être de l'Eocène,

(*) Ces concrétions du sidérolithique sont abondantes dans la région du Bas-Rhône. Elles ont laissé leur nom à des villages, comme ceux de Ferrassières, Ferrière, La Ferraye. D'après SCIPION GRAS (79) le fer se trouve dans certaines régions du pays de Sault (Vaucluse) en petit amas d'oxyde hydraté, assez riches pour former un véritable minerai, qui vraisemblablement a été exploité jadis.

de l'Oligocène ; dans la garrigue nîmoise MARCELIN (98) les a décrits en place et d'âge Aquitanien dans le vallon synclinal de Charlos (Gard), qui pénètrent au cœur de la pénéplaine urgonienne. Ces dépôts résiduels se rencontrent également sur la rive gauche du Rhône, au pays de Sault (Vaucluse), notamment. On les retrouve encore sur les causses de Montdardier (Lozère) et sur le causse Méjean (Aveyron), ainsi que sur le calcaire bathonien des Alpes-Maritimes (BOISCHOT et DROUINEAU (15).

Ainsi, tout ce complexe détritique (débris de grès siliceux, de quartz, de pisolithes, restes de lœss ou de lehm, etc...) va se mélanger



à la *Terra-Rossa*, argile résiduelle du calcaire, dans les lapiaz, dolines, grottes et avens de faible profondeur, ou bien encore c'est cette *Terra-Rossa*, mise à jour par l'érosion et les traumatismes karstiques qui, en se répandant sur toutes les pénéplaines calcaires et les poljés, se mélangera aux éléments détritiques qui recouvrent ces surfaces. Ainsi se conserve et revient à jour « le tréfonds de l'ancien karst » GIGNOUX (75). L'ensemble de tous ces dépôts colluviaux (*terra-rossa* et éléments détritiques) constitue ce que nous appelons *le complexe Terres-Rouges*. Sa genèse est donc intimement liée, d'une part aux phénomènes du calcaire et, d'autre part, à la présence de ces débris épars à la surface des garrigues et pénéplaines calcaires. Elle se résume par l'équation suivante établie par MARCELIN (100) :

Terres-Rouges (Roche-Mère) = Complexe détritique D.
+ Complexe argileux X (*Terra-Rossa*).

Cette théorie de la formation des « Terres-Rouges », basée sur des faits d'observations répétées, s'accorde d'ailleurs parfaitement sur les points principaux avec celle émise par HOLLSTEIN (87), dans un des plus récents travaux sur les sols des pays méditerranéens. Mais ce qui fait l'originalité de cette conception, c'est que, d'origine colluviale, nous considérons les « Terres-Rouges » non pas comme des sols ; mais bien comme des roches-mères. En effet, leur formation est géologique et continentale, et d'autre part, elles se distinguent nettement de toutes les formations pédologiques, par la nature des phénomènes qui la produisent, ces dites formations étant, on le sait, superficielles et limitées à la *biosphère*, ce qui n'est pas le cas dans les phénomènes que nous venons d'étudier.

C'est ainsi que le manque d'humus et l'absence de toute structure en agrégats dans les « Terres-Rouges » sont les deux principales raisons et non des moindres pour justifier notre classement dans les roches-mères. On sait, en effet, que la structure est une propriété fondamentale des sols. Or, elle est tout à fait absente dans ces formations meubles diagénétiques ou métasomatiques. Le manque d'humus n'a rien de surprenant puisque ces « Terres-Rouges » n'ont pas de relations avec la végétation, sauf celles de surface, où alors apparaîtrait d'ailleurs un sol dont nous parlerons par la suite.

Si nous avons insisté sur ces phénomènes du calcaire, c'est qu'il nous fallait mettre en évidence toute la genèse assez compliquée des « Terres-Rouges », roches-mères, importantes pour la Pédologie méditerranéenne, et que nous devons montrer la complexité de leur composition lithologique, aux dépens d'une part, des résidus du calcaire, et, d'autre part, d'éléments détritiques étrangers à celui-ci.

Nous étudierons plus loin ces « Terres-Rouges », *in situ*, et nous verrons comment elles évoluent vers des sols.

Analyses des « Terres Rouges ».

Nous donnons ci-après le résultat analytique (*) (analyse mécanique) de quelques « Terres-Rouges » de la région du Bas-Rhône.

		1	2	3	4	5	6
Argile	%	47,0	79,0	59,8	88,8	71,6	63,2
Limons	%	13,8	10,0	20,7	2,3	12,0	25,6
Sable fin	%	35,4	4,3	16,4	7,0	5,8	9,1
Sable grossier ...	%	3,1	4,7	0,3	0,7	9,9	1,6
Matières organiques	%	0,2	1,4	2,8	0	0,7	0,15
Calcaire fin	%	1,5	1,0	0	0,4	3,1	0
Calcaire grossier.	%	1,0	0,9	0	0,1	8,3	0
Calcaire total ...	%	2,5	1,9	0	0,5	11,4	0
Fer libre	%	1,43	1,54	1,26	2,67	3,35	1,65

(*) Toutes les analyses mécaniques des roches-mères et des sols figurant dans ce mémoire ont été faites suivant la technique ci-après: dispersion au citrate de soude selon DEMOLON et BASTISSE ; les fractions ont été déterminées par la méthode pipette, conformément à l'échelle internationale.

Ce travail a été effectué par MM. MATHIEU, LIDOYNE et Madame HUGUET, sous ma direction.

Echantillons	{	N° 1. A Rochefort (Gard), route de Valliguière.
		N° 2. Route de Sault à Apt par Javon, à 6 km. de Sault.
		N° 3. Route de Sault à Apt par Rustrel à 7 km. de ce village (B.-A.).
		N° 4. Doline du plateau de Saint-Christol, près de ce village (Vaucluse).
		N° 5. Doline à Sault, propriété du Général MICHEL.
		N° 6. Doline, route de Saint-Trinit, à Revest-du-Bion (B.-A.).

La présence d'un peu de matières organiques dans certains échantillons, provient de ce qu'ils ont été prélevés dans des poches karstiques, superficielles où les racines des arbres ont pu pénétrer profondément. Ces « Terres Rouges » sont généralement dépourvues de calcaire. Pourtant, on retrouve parfois dans quelques-unes d'entre elles, des débris de calcite et de petites poupées (cas de l'échantillon N° 5), éléments qui sont souvent disséminés avec les autres débris détritiques, à la surface des sols cultivés du plateau de Saint-Christol (Vaucluse).

Examen de l'argile des « Terres Rouges ».

Trois échantillons typiques de « Terres Rouges », numéros 1, 2 et 4, parmi ceux que nous avons examinés, ont été retenus afin de rechercher de quel type se rapprochait l'argile minéralogique de leur « Terra Rossa ».

Les déterminations suivantes ont été faites sur « l'argile agromomique », c'est-à-dire celle dont les particules ont un diamètre équivalent à 2μ , préalablement séchée à 105 C., et attaquée par l'acide chlorhydrique après fusion aux carbonates-DEMOLON (49).

Pour 100 grammes	Perte au rouge	SiO ₂	Fe ₂ O ₃
Argile bauxitique des Alpilles.....	13,0	39,2	10,5
Echant. N ^o 2 (Sault).....	14,2	43,9	12,8
Echant. N ^o 4 (St-Christol)	12,8	41,6	11,1
Echant. N ^o 1 (Rochefort)	13,4	41,6	12,8

Pour 100 grammes	SiO ₂		SiO ₂
	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃
Argile bauxitique des Alpilles..	31,5	2,1	1,8
Echant. N ^o 2 (Sault).....	23,8	3,2	3,35
Echant. N ^o 4 (St-Christol).....	29,3	2,4	1,9
Echant. N ^o 1 (Rochefort).....	24,8	2,9	2,2

Une deuxième série d'analyses a porté, sur la « Terre Rouge » totale, pour la recherche de l'alumine libre suivant la technique de Th. SCHLOESING ; à la liste des précédents échantillons, nous avons ajouté également une bauxite des Baux (B.-du-Rh.) constituant un témoin allitique, ainsi que les concrétions ferrugineuses isolées des « Terres Rouges » du plateau de Saint-Christol (Vaucluse).

Pour 100 grammes	SiO ₂		
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
Bauxite des Baux.....	1,70	7,96	0,36
Argile bauxitique des Alpilles.....	0,93	1,10	1,43
Echant. N° 2 (Sault).....	2,84	2,44	1,98
Echant. N° 4 (Saint-Christol)	3,78	3,18	2,02
Concrétions ferrugineuses (Saint-Christol).....	0,08	0,02	6,50
Echant. N° 1 (Rochefort)	1,82	1,5	2,06

L'examen des résultats obtenus montrent que les colloïdes argileux, extraits des « Terres Rouges » typiques, ont un rapport SiO₂/Al₂O₃ de 2, ce qui permet de les rapprocher des argiles à noyaux kaoliniques comme l'indique DEMOLON (49) (Groupe des Siallites).

Certaines « Terres Rouges » peuvent contenir des éléments d'origine bauxitique (argile bauxitique des Alpilles), apportant de l'alumine libre et déterminant un rapport inférieur à 2 (Groupe des Allites). Quant aux concrétions ferrugineuses de Saint-Christol, elles cèdent très peu de silice et d'alumine au réactif sodique.

La considération plus attentive des résultats analytiques des échantillons ci-dessus étudiés, permet de faire une constatation d'intérêt théorique plus général : les rapports : SiO²/Al²O³ et SiO²/Al¹O³ + Fe¹O³ ne sont pas les mêmes, suivant qu'ils sont calculés sur les éléments déterminés par fusion alcaline des colloïdes argileux ou par la technique de SCHLOESING la silice, l'alumine et le fer pouvant exister à l'état libre et à l'état combiné. Il semble que la recherche de l'alumine libre suivant SCHLOESING est préférable à la méthode brutale de la fusion alcaline, mais elle ne lève pas l'incertitude résultant de la présence de la silice libre.

P. URBAIN (150) a d'ailleurs critiqué toutes ces méthodes chimiques et leur a opposé des méthodes physiques plus spécifiques (analyse thermique d'ORCEL et CAILLERE (122), ou analyse des cristaux par les rayons X. Les données de l'analyse thermique différentielle conduisent à relier la structure et les propriétés physico-chimique des argiles (HENIN) (84).

Les argiles bauxitiques.

La bauxite est un dépôt le plus souvent rutilant, mais il existe aussi des bauxites roses et blanchâtres que l'on trouve autour du petit village des Baux dans les Alpilles (d'où son nom), ainsi que sur les

deux versants de ce massif, au nord, à Saint-Rémy, au sud, à Fontvieille, au Paradou et à Maussane.

La bauxite se rencontre indifféremment sur le Barrémien inférieur et sur l'Urgonien. Dans le Var et l'Hérault, on la trouve sur des sédiments plus anciens. Les deux thèses émises sur la genèse de cette roche-mère sont les suivantes :

1^o Formation continentale et superficielle d'argile résiduelle allitique (latéritisation d'origine « Crétacé »).

2^o Formation hydrothermale d'origine télémagmatique (décomposition et latéritisation de roches éruptives profondes). Nous n'insisterons pas sur la deuxième thèse qui n'a plus guère d'adeptes, quoique SAGUI (138) l'admet pour la région des Baux ; quant à la première thèse, elle se rattache à la théorie générale de la formation des « Terres Rouges » avec cette différence que les processus d'altération auraient été ici, successivement : *la décalcification*, *la ferrugination* et *la latérisation*. Cette latérisation a dû se produire dès l'émersion postaptienne de l'Isthme Durancien, sous un climat différent et beaucoup plus chaud qu'aujourd'hui. La formation de la bauxite dériverait donc, et c'est là la théorie émise par J. de LAPPARENT (95) d'une argile de décalcification dont l'évolution s'est en grande partie poursuivie au lieu même de sa libération.

b) *Eboulis calcaires :*

La désagrégation mécanique des calcaires compacts donne naissance, sur les pentes de toutes les montagnes et collines de la région du Bas-Rhône, à de grandes traînées d'éboulis anguleux ; sur la rive gauche du Rhône, ils sont généralement assez bien calibrés (phénomènes de solifluction) et présentent une certaine analogie avec les « rock-glaciers » (glaciers de pierres) des Montagnes-Rocheuses ou des Karpathes (Eboulis des Monts de Vaucluse, à Rustrel) ; sur la rive droite, aux environs de Nîmes et d'Uzès, ces éboulis sont souvent consolidés sous forme de *brèches*. Enfin, à la base des collines calcaires bordant le Rhône, ces éboulis viennent souvent se mélanger ou recouvrir des anciens lits de petits graviers fluviatiles. C'est ce que l'on observe sur le versant nord de la barre de Lampourdier, à Roquemaure (Gard) puis, en face, sur l'autre rive, au pied de la colline de Châteauneuf-du-Pape et enfin à la Bégude de Rochefort, au niveau de l'ancien étang (Gard).

Ces éboulis donnent naissance à des sols rendziniformes, dont certains, comme nous le verrons, datent juste de 2.000 ans (époque romaine).

Voici l'analyse mécanique de deux éboulis, assez semblables d'ailleurs : le premier représente un échantillon pris à Barbegal, près d'Arles, et le second a été prélevé dans les Monts du Vaucluse, route d'Apt à Sault, par Javon (horizon de profondeur — Roche-Mère).

		N ^o 1	N ^o 2
Argile	%	13,5	18,8
Limon	%	24,5	32,2
Sable fin	%	38,5	39,6
Matières organiques	%	1,5	1,0
Calcaire fin	%	30,5	43,8
Calcaire grossier.....	%	18,5	7,2
Calcaire total	%	49,0	51,0

b) *Le calcaire marneux*. — Il est très important, pour notre étude pédologique, de bien différencier les calcaires marneux car, comme nous le verrons, ils sont recouverts uniquement, dans la région du Bas-Rhône, de sols squelettiques d'érosion, de rendzines et en certains endroits, d'un sol brun calcaire au début de son évolution. Cette différenciation est relativement facile, puisque les calcaires marneux ont une origine bathyale, tandis que celle des calcaires compacts est néritique.

Sur ces calcaires marneux, les « phénomènes du calcaire », dont nous venons de parler longuement à propos de la formation des « Terres Rouges » sont inexistants. Sous le climat méditerranéen, et du fait de l'instabilité des surfaces et des formes, la résistance à l'érosion est faible.

Au contraire, dans les Alpes toutes proches, l'attaque est plus profonde car la stabilité de ces calcaires marneux est plus grande, beaucoup ayant subi un métamorphisme les rendant plus compacts. Tel est le cas des calcaires noirâtres, marneux et schisteux du Lias qui se décalcifient rapidement, tout en gardant encore leur aspect feuilleté, et qui arrivent à former une argile grisâtre, souvent légèrement entraînée sur le bas côté des vallons. Dans ce cas, il y a donc formation d'une argile résiduelle colluviale mais nous ne l'avons jamais observée dans la basse vallée du Rhône.

2^o Argiles et marnes :

Nous ne comprenons, sous ces dénominations, que les dépôts *meubles* qui se sont formés dans l'eau, à l'exclusion des argiles résiduelles du calcaire dont nous venons de parler et des argiles glaciaires (*ferretto*) ou fluviales (*diluvium*).

La sénilité précoce est le caractère principal du relief des terrains argileux et marneux, dus à la très grande activité superficielle. Conséquemment soumis à l'action du ruissellement, les sols issus de ces formations que la végétation d'autre part, n'a pu fixer, sont, dans la région méditerranéenne, à peu près inexistants. On peut prendre comme type de ces marnes, celles du Plaisancien, fort bien représentées dans les « fosses de Fournès » (Gard) où, en raison de la topographie, elles présentent un faciès d'érosion sur les deux côtés du thalweg du Gardon qui vient couper perpendiculairement la dépression varisque, Roquemaure-Nîmes, remblayées en partie

par la mer plaisancienne (BORDAS, JOESSEL et MATHIEU (23). Sur les pentes abruptes, soumises à l'érosion, la végétation se raréfie. Toutefois, la camphorine et le stype, par leur système racinaire développé, tendent à s'opposer à l'arrachement des marnes par les eaux et forment, par endroits de nombreuses buttes. Voici, à titre d'exemple, l'analyse des marnes du Plaisancien :

	Marne jaune à Ostréa %	Marne grise à Armussium %
Argile	20,5	20,5
Limon	38,0	33,5
Sables fins	41,0	45,0
Sables grossiers	0	0
Matières organiques	0	0
Calcaire fin	30,0	30,0
Calcaire grossier.....	0	0
Calcaire total	30,0	30,0
Chlore en NaCl $\frac{0}{100}$	2,8	2,6

On remarquera que ces marnes sont nettement salées. D'ailleurs le chlorure disparaît dès que l'on cultive le sol squelettique de surface. Il ne s'agit pas là d'un phénomène spécial aux marnes plaisanciennes, puisque nous avons retrouvé du sel dans d'autres marnes (la mollasse argileuse de Mouriers (Bouches-du-Rhône) en contient plus de 3 grammes). Dans ces deux cas, nous avons affaire à des dépôts marins de fosses relativement profondes, où sans doute, l'évacuation des eaux, après la régression de la mer, a dû être lente, l'évaporation jouant très probablement un rôle primordial. Ces marnes plaisanciennes sont également riches en fer. L'eau des nappes artésiennes en contact avec elles, dans les environs de Carpentras, en contiennent jusqu'à 40 milligrammes par litre.

3° Grès et sables :

Nous avons affaire ici à des roches perméables. Encore devons-nous, si nous voulons suivre l'évolution de leur désagrégation, qui peut présenter des anomalies apparentes, tenir compte des différences de solubilité des éléments constitutifs. Les grès sont des roches compactes et les sables sont meubles. Si nous les avons classés dans le même groupe c'est que, au point de vue pétrologique, nous ne nous arrêterons pas à ce premier stade physico-chimique de désagrégation. C'est ainsi que nous avons trouvé, près d'Alès (Gard), un grès à ciment calcaire — ils le sont presque tous dans la vallée du Rhône — présentant l'altération suivante : le calcaire a complètement disparu en surface, pour venir se reformer sur le bord des fissures, sous forme de calcite. Dans les cavités ainsi faites, se trouve une argile résiduelle rougeâtre plus ou moins remaniée. Les éléments quartzueux à peine agglomérés sont facilement enlevés par les eaux

de ruissellement. Ainsi, au lieu de la roche-mère initiale, de formation alluviale, nous avons actuellement deux nouvelles roches-mères, l'une de formation colluviale (transport limité), l'autre alluviale, entraînée au loin par les eaux vers la rivière la plus proche, le Gard en l'occurrence.

Le même phénomène s'observe sur les grès du Cénomanién à Orange, mais ici les sables restent sur place. Cette désagrégation, *in situ*, s'observe également sur la mollasse sableuse de l'Helvétien et du Burdigalien. Nous avons constaté les mêmes phénomènes dans les grès calcarifères d'Uchaux (*Turonien*) et ceux de Saint-Cyr et la Cadière (*Santonien*) dans le Var.

Sur certains sables fluviatiles ou d'estuaires (Astien) depuis longtemps en place, on observe notamment à Roquemaure à Saint-Laurent-des-Arbres (Gard) *à une faible profondeur*, des lits de grès intercalés, à stratification oblique et souvent ravinés par les eaux (Silicification). Ils constituent souvent un obstacle aux labours profonds de ces sols.

Le lessivage de ces sables est lent, toutefois, on retrouve parfois de petits nodules calcaires, ferrugineux. La podzolisation (phénomène ici en somme purement géogénique) est loin d'atteindre le degré d'évolution de celle que l'on observe dans les sables des Landes, avec la formation des « alios » bien connus.

Voici, à titre d'exemple, l'analyse physique du sable de l'Astien, à Roquemaure :

	%
Argile	1,5
Limon	9,0
Sable fin	27,0
Sable grossier	59,9
Matières organiques	0,9
Calcaire fin	5,5
Calcaire grossier.....	5,7
Calcaire total	11,2

et celle d'une mollasse sableuse (Miocène) à Châteauneuf-du-Pape :

	%
Argile	8
Limon	24,4
Sable fin	60
Sable grossier	7
Calcaire	34
Matières organiques	0,6

4° Graviers fluviatiles (terrasses à cailloux roulés).

Après le dernier passage de la mer au Plaisancien, qui a formé, à cette époque, un golfe étroit et ramifié, jusqu'à Vienne, le Rhône et ses affluents ont progressivement rempli ces dépressions, avec

des alluvions les plus diverses. Mais, c'est surtout aux époques glaciaires que ce réseau hydrographique a pris le plus d'ampleur. (GUNZ-MINDEL-RISS-WURM).

L'origine et la formation des terrasses fluvio-glaciaires et fluviales sont basées sur deux hypothèses dont l'une est la théorie glaciaire de PENCK et BRUCKNER, tandis que l'autre est la théorie eustatique de DEPERRET (54) et de La MOTHE. D'après la première, les terrasses les plus hautes seraient formées par les moraines externes et les plus basses par les moraines internes, tandis que les époques interglaciaires étaient des périodes de creusement dans la nappe de cailloutis. La deuxième hypothèse explique la formation des terrasses par les seuls mouvements positifs ou négatifs du niveau de base marin.

Ainsi, tandis que les uns, préoccupés de se rattacher aux quatre périodes glaciaires, remontaient des terrasses du Rhône insensiblement vers les moraines du Bas-Dauphiné, les autres, au contraire, descendaient vers l'aval, pour rechercher une continuité jusqu'à la mer. Tout en se rendant compte de la complication de la morphologie fluviale de toute cette vallée du Rhône, la solution la plus sage est de suivre la tendance actuelle de certains géologues, qui mettent en harmonie ces deux thèses et admettent une certaine concordance entre elles.

L'examen minéralogique du cailloutis des différentes terrasses du Rhône indique nettement l'origine alpine ou cévenole. On trouve notamment des galets de roches cristallines (protogines, diorites, variolites, amphibolites, quartz blanc), des débris de granit, de gneiss, de gabbros, de grès quartzeux et, enfin, des cailloux calcaires gris foncé ou noirâtres. Au moment où les crues périodiques faisaient remonter, au quaternaire, le niveau de la nappe phréatique dans ces alluvions, il se créait, ainsi que nous l'avons dit, un micro-climat humide favorable au développement des processus de la *décalcification*, la *kaolinisation* et de la *ferrugination*.

Le calcaire est souvent absent des horizons superficiels et forme la plupart du temps, à 40 ou 60 cm. une couche de néoformation et également le ciment du poudingue sous-jacent. La Kaolinisation a formé, en bien des endroits, *ce diluvium rouge*, que l'on peut considérer, là où il subsiste, comme une véritable roche-mère, analogue aux « Terres-Rouges » dont nous avons parlé et au *ferretto* des alluvions glaciaires (argile à blocs). Nous avons indiqué plus haut le processus de la ferrugination, en prenant comme exemple justement la formation et la migration du complexe ferri-silicique dans les alluvions à cailloux roulés. Elle suit en quelque sorte les fluctuations de la décalcification.

Dans les alluvions surtout siliceuses (rive droite du Rhône), la décalcification est plus rapidement atteinte et la rubéfaction se propage sur une plus grande épaisseur. La Kaolinisation est réduite au minimum et la partie supérieure de la terrasse est rouge sans être argileuse. Si le lessivage du calcaire se cantonne aux horizons de surface (terrasse plus récente), la rubéfaction ne touche que les

40 à 60 centimètres de la partie superficielle. Enfin, dans les alluvions encore calcaires (de la moyenne et basse Durance notamment), la rubéfaction est inexistante. On a, sur tout l'ensemble du cailloutis, une teinte grise uniforme, mais on rencontre aussi des poches de calcaire de néoformation, et un commencement de formation de poudingue (le lessivage existe, sans décalcification profonde).

Analyse de « Diluvium rouge » :

	en Costière (Gard)	à Morières (Vaucluse)
	— %	— %
Argile	46	49,2
Limon	9	9,5
Sables totaux	44,2	44,0
Sables grossiers	28,2	22
Sables fins	16	22
Calcaire total	0	0
Matières organiques	0,6	0,4
	type argileux	

A titre de comparaison, analyse de « Ferretto » sur Moraine :

	à Beauregard (Isère)
	— %
Argile	53
Limon	5,9
Sables fins	12,2
Sables grossiers	27,9
Calcaire	0
Matières organiques	1,0

5° Limons fluviaux :

Les alluvions modernes du Rhône et de ses affluents occupent, dans la région du Bas-Rhône, de vastes surfaces. La jeunesse de ces dépôts fait que l'étude de ces roches-mères meubles se confond avec celle des sols (voir plus loin). Ces terres limoneuses, soumises à l'arrosage en Provence, sont fertiles (cultures maraîchères-fruitières et vignes). Malgré quelques variantes on pourra, ainsi que nous le verrons, trouver des « types de sols, en tenant compte des problèmes d'alluvionnement naturel avec le régime des eaux fluviales et de la nappe phréatique, et également des problèmes d'alluvionnement artificiel (colmatage) avec le régime des irrigations du Rhône.

Nous donnons ci-après la composition d'un limon d'inondation du Rhône (1941) de l'île de la Piboulette (Vaucluse) N° 1 et d'un limon récent de colmatage de la Durance (N° 2).

	N ^o 1	P. %	N ^o 2
Argile	11,2		8
Limon	64,5		40
Sable fin	16,4		28
Sable grossier	5,4		19,3
Matières organiques	2,5		5,0
Calcaire fin	40,5		34
Calcaire grossier.....	1,5		8,3
Calcaire total	42,0		25,9

Si l'on compare ces deux analyses, on constate que le premier limon est constitué d'éléments plus fins. Cela tient sans doute à ce que la Durance a encore un régime torrentiel et une pente plus accentuée que celle du Rhône.

6^o Limons éoliens (Læss) :

Les limons éoliens — (les læss jouent en effet, un rôle important dans la morphologie des paysages du Bas-Rhône) — sont caractérisés beaucoup plus par leur structure (perméabilité et porosité), que par leur couleur, leur composition et leurs fossiles. Le læss est en général fin, grenu, friable, de couleur claire, et se réduit sous les doigts en une poudre presque impalpable. C'est une roche-mère tendre et poreuse. Elle contient de petits grains de quartz, des débris fins de roches silico-alumineuses, et environ 20 à 25 % de calcaire sous diverses formes. Les eaux d'infiltration sont un des principaux facteurs d'altération de cette roche-mère. La nature du soubassement, perméable ou imperméable, a également une notable influence. Nous avons vu, en effet, que le læss recouvre indifféremment des roches géologiques bien différentes et d'âges divers, à l'exception naturellement des basses terrasses et des alluvions modernes.

Quand il repose sur des marnes ou des boues glaciaires (cas de la moyenne vallée du Rhône), la lehmification est assez avancée ; le socle imperméable peut devenir à la fois un plan de lavage et un plan de glissement. Quand le substratum est également imperméable et bien horizontal, un apport continu de chaux a lieu par la nappe d'eau et le læss durcit ; il y a souvent formation d'une véritable croûte calcaire superficielle, Lédénon (Gard).

Au contraire, sur un substratum perméable, le lessivage par les pluies, provoque une décalcification partielle avec la formation classique des poupées de læss. Au contact de la roche géologique sous-jacente, on observe souvent un horizon de légère accumulation argileuse. La décalcification des couches superficielles provoque une rubéfaction très visible sur le læss de Tavel, de Roquemaure et de Collias (Gard).

En somme, la lehmification, qui, comme la *podzolisation* est un phénomène géogénique dû aux trois processus de la décalcifi-

cation, de la kaolinisation et de la ferrugination atteint dans la basse vallée du Rhône, un degré d'évolution infiniment moindre que dans la vallée du Rhin et que dans le Nord de la France (terre à briques reposant sur « l'ergeron »).

Nous donnons ci-après, l'analyse du lœss de la rive droite du Rhône :

	Roquemaure	Collias
	—	—
	%	%
Argile	3,5	7,0
Limon	11,5	22,5
Sable fin	30,4	19,9
Sable grossier	53,4	53,7
Matières organiques	0,5	0,7
Calcaire fin	14,6	21,5
Calcaire grossier.....	11,4	9
Calcaire total	26,0	30,3

7° Sables éoliens (Dunes) :

Ces formations, trop récentes intéressent peu l'Agrologie. Certaines zones dunaires anciennes sont cultivées (vignes) dans la région d'Aigues-Mortes (Gard) ou portent, comme en Camargue, au sud du Vaccarès quelques bois de pins ou de genévriers de Phénicie (bois des Rièges).

Au point de vue pédologique, nous avons affaire à des sols essentiellement endodynamomorphes et squelettiques. Toutefois, il y a lieu de signaler que le sable mêlé à de fines particules argileuses, a tendance à se coaguler. C'est ainsi que, sur les plages de Crau-du-Roi et des Saintes-Maries-de-la-Mer on observe des bancs de grès de formation historique (GEORGE) (72).

Au point de vue analytique, ces sables éoliens ont sensiblement la même composition que celle des sols squelettiques qui les surmontent (voir § Sols, page 140).

IV. — CARTOGRAPHIE DES ROCHES-MÈRES

Une classification des roches basée sur leurs propriétés physiques et chimiques, sur leur faciès, sur leur résistance plus ou moins grande à l'érosion rendrait évidemment de grands services, non seulement aux pédologues, mais encore aux géographes, aux hygiénistes, aux agriculteurs, bref, à tous ceux qui, pour une raison quelconque, s'intéressent à la nature et à l'évolution du sol. En effet, les mots granites, calcaires, grès etc... ne représentent pas une roche définie ayant toujours les mêmes propriétés. Il y a, nous venons de le voir, des calcaires durs et des calcaires tendres, des granites siliceux compacts, d'autres très friables et c'est cela qui, au point de vue

pédologique, nous intéresse le plus : l'importance de cette classification morphologique des roches a d'ailleurs été mise en lumière par de MARTONNE (106).

D'autre part, au point de vue cartographique, ce qui n'apparaît pas sur les feuilles géologiques au 1/80.000^e, au milieu de la complexité des notations et des coloris souvent différents d'une carte à l'autre et suivant les éditions, ce sont surtout les faciès des roches. C'est pour remédier à cet état de choses que nous avons songé, afin de nous faciliter ultérieurement notre tâche de cartographie pédologique, d'établir tout d'abord les cartes des roches-mères au 1/80.000^e de la vallée du Rhône (travail terminé pour les feuilles de Lyon, Saint-Etienne, Privas, Valence, Orange, Avignon et Arles) (*).

§ 2. ÉTUDE PÉDOLOGIQUE

La pédologie, telle que nous la concevons, a pour principes directeurs :

1^o *Une méthode de naturaliste* qui doit, tout d'abord, placer le sol que l'on veut étudier dans son « milieu naturel » tel que nous l'avons défini au début de cet exposé, par le trinôme : *Sol, Climat, Morphologie*. Il s'agit, en l'occurrence, de facteurs interdépendants, dont les deux derniers ont justement contribué à la genèse du sol, avec le temps, avec la roche-mère, la végétation et enfin en tenant compte parfois de l'action de l'Homme.

(Nous venons d'étudier le climat et les roches-mères, puis de voir toute l'importance du relief et de l'exposition, mais il nous faut dire à présent quelques mots sur la végétation, si spéciale de la région méditerranéenne).

2^o *Une technique agrologique*, qui comprend l'examen morphologique, *in situ*, du profil du sol avec toutes ses couches jusqu'à la roche-mère ou jusqu'au substratum. Cette existence des horizons est une acquisition considérable due à la Pédologie, Science d'observation (MARCELIN (100)).

A notre avis, les études sur le terrain qui doivent être nombreuses et comparatives, même dans les régions voisines de celle où l'on prospecte, réclament une place importante à côté des travaux de laboratoire évidemment indispensables.

I. — La végétation du Bas-Rhône

En Pédologie, la végétation agit surtout par l'intermédiaire de ses produits de décomposition, l'humus notamment. Celui-ci joue un rôle physico-chimique et biologique important dans la genèse

(*) Ces cartes peuvent être consultées à la Station de Recherches Agronomiques d'Avignon, 36, rue J.-B. Boussingault.

Dégradation typique de la Chênaie d'Yverse dans le Bas-Rhône.

Stades
ou
faciès

1 - Chêne vert (forêt)

2 - Chêne Kermès - Cystes { garrigue embuissonnée }

3 - Brachypode rameux { pelouse à moutons }

4 - Asphodèle -

5 - Chardons - Euphorbes } erme

6 - Dénudation - { roche à nu }

Sol rouge sur "Terres rouges"



Rendzine grise

Substratum

Roches dures

"Terres rouges"

{ du Crétacé ou
du Jurassique.

Dégradation typique de la forêt à chêne pubescent dans le Bas-Rhône.

- | | | |
|-----|------------------------|------------------|
| 1 - | Chêne pubescent. | } bois
landes |
| 2 - | Pin d'Alep | |
| 3 - | Romarin - Genévriers. | |
| 4 - | Genêt d'Espagne. | |
| 5 - | Thym - lavande (aspic) | |
| 6 - | Aphyllante [pelouse] | |
| 7 - | Dénudation [érosion] | |

Sol brun calcaire

Stades

ou
facies



Sol squelettique d'érosion

Substratum
Roches tendres { Calcaires tendres,
molasse, marne
et grès.

N.B. sur sol squelettique siliceux :

- 2 - pin maritime ou chesnoignier.
- 3 - Callune à genêt à balai.
- 4 - Cystes silicicoles (notamment à feuilles de laurier)

des sols ; en effet, suivant le climat, et grâce à ses propriétés colloïdales, il tient une place de premier plan dans les phénomènes de migration des éléments décomposés, dans ceux de fixation des bases, avec échange d'ions par équivalence. D'autre part, dans un pays au relief assez tourmenté, comme c'est le cas dans de nombreuses régions de la basse vallée du Rhône, la végétation devrait, en fixant le sol formé, empêcher en grande partie les dégâts de l'érosion et du ruissellement particulièrement redoutables dans le Midi. Or, nous constatons que le « facteur végétation » joue bien imparfaitement ce double rôle dans les pays méditerranéens.

1° Caractéristiques de la flore méditerranéenne :

Dans toute étude de pédologie locale, il est actuellement nécessaire de connaître les principes fondamentaux de *Phytosociologie*. D'autre part, *l'Ecologie agricole* étudie les réactions des plantes aux facteurs du sol, conjointement aux facteurs climatiques (BŒUF (14).) Elle doit fixer ses méthodes par des recherches dans le milieu naturel.

Nous signalerons ici les caractéristiques des variations de la Flore de la région du Bas-Rhône, car il ne nous appartient pas, dans le cadre de ce travail, de décrire en détail les peuplements végétaux. On trouvera par ailleurs, ces études sur la végétation méditerranéenne (BRAUN-BLANQUET, EMBERGER, KUHNHOLTZ-LORDAT, SUSPLUGAS, MOLINIER, GAUSSEN.)

Nous rappelons tout l'intérêt de cette étude des associations végétales en Pédologie, car la répartition des végétaux d'une région, permettra de distinguer les changements entre les divers types de sols et de fixer leur limite quand on les cartographiera. Les associations végétales constituent donc des points d'appui distincts pour les différents degrés d'évolution du sol.

a) Influence du climat :

Certains facteurs climatiques de la région méditerranéenne (sécheresse estivale en particulier) introduisent, dans la vie végétale de nos régions méridionales, un rythme tout différent de celui du nord de la France. On arrive ainsi à avoir un repos plus général, plus prolongé en été qu'en hiver. Durant la longue période estivale, caractérisée par plusieurs semaines sans pluie, certaines plantes meurent et les autres réduisent leur activité au minimum. Garrigues et maquis se dessèchent et les incendies ravagent souvent les broussailles et atteignent les bois de pins et de chênes verts.

Seules peuvent donc résister à ces rudes conditions d'existence, certaines plantes bien adaptées à la zone méditerranéenne ; ce sont les plantes « xérophiles » c'est-à-dire celles qui sont outillées pour supporter ce manque d'eau. Il s'agit, pour elles, de réduire leur transpiration afin d'éviter une perte d'eau trop difficilement récupérable. C'est pourquoi nous trouvons les plantes qui ont des feuilles très petites et éphémères, comme les genêts, ou épineuses (chênes

kermès). Chez d'autres, l'épiderme de la feuille se durcit (olivier, chêne-yeuse, etc...). De nombreuses labiées (le romarin, l'aspic, la lavande, le thym, la sariette, etc...) dégagent des essences aromatiques qui, en flottant autour de la plante, diminuent l'évaporation. Certains végétaux résistent à la sécheresse, grâce à leurs bulbes (jacinthes, ail, à leurs rhizomes iris, asphodèle) ; ceux-ci accumulent des réserves qui seront utilisées par de nouvelles pousses. Enfin, certaines espèces sont annuelles ; elles accomplissent leur cycle en quelques mois. La sécheresse estivale les tue, mais les graines bien protégées contre la dessiccation, assurent la continuité de l'espèce.

Ainsi la *flore méditerranéenne* est très caractéristique et diffère nettement de la *flore holarctique*, qui occupe tout le reste de la France et d'immenses territoires en Europe, en Asie et en Amérique du Nord (*) ; toutefois, il n'est pas rare de trouver, dans le Bas-Rhône, des colonies de cette flore holarctique qui est venue braver la faible pluviosité du climat méridional. Mais alors, elles peuvent se maintenir, grâce à certaines conditions « édaphiques » particulières.

b) *Influence du sol :*

C'est ainsi que nous trouvons le long de la plaine du Rhône, dans son delta (Camargue) et dans les vallées de ses affluents, (Durance en particulier) des sols dont l'humidité se maintient à une teneur suffisante pour permettre à certains arbres du Nord de prospérer normalement, peupliers, aulnes, saules, ormes, chêne pédonculé, ce dernier étant abondant dans l'île de la Piboulette (NEGRE) (118). Toute une flore holarctique (*Arrhénateraiæ*) les accompagne.

Dans la classification édapho-climatique adoptée par les phytogéographes, nous sommes ici dans le deuxième groupe c'est-à-dire celui où le *substratum* a une action plus énergique que le *climat*. Ça sera le cas encore pour la Camargue, où l'action du sol salin se fera nettement sentir (salicornes, statices, tamaris, etc.)

Sur certains sols très perméables, comme les sables et les terrasses siliceuses, nous trouvons le pin pignon, l'arboussier, le châtaignier, le jujubier, le paliure austral, la bruyère, les cystes, tandis que sur les sols calcaires, secs, nous rencontrons le genévrier, l'ala-terne, le pistachier térébente, le buis, les labiées aromatiques, le kermès et l'aphyllanthès.

Certains arbres, le chêne yeuse et l'olivier, tous les deux bien caractéristiques de la zone méditerranéenne, sont indifférents à la nature physique du sol.

La flore des terrains siliceux est plus envahissante, car le maquis est une association fermée ; la garrigue, au contraire, représente le type de l'association dégradée ouverte.

(*) Dans son ensemble le tapis végétal révèle une grande diversité et une richesse de formes remarquables. D'après BRAUN BLANQUET le seul département du Gard, par exemple, possède à peu près deux fois plus de végétaux vasculaires que la moyenne d'un département français et compte presque autant d'espèces que toute la Suisse avec sa riche flore alpine.

« Les plantes calcicoles, dans le Midi de la France, ne sont pas « celles qui recherchent le calcaire, mais celles qui le supportant, « y occupent un refuge où les autres ne peuvent venir les combattre. » (SION.)

2° Origine et limite de la flore méditerranéenne :

La région méditerranéenne française conserve encore quelques spécimens de la flore chaude qui couvrait une grande partie de l'Europe à l'époque miocène (myrthe, figuier, palmier nain). Au sujet de celui-ci (*Chamoerops humilis*) SION signale que, vers 1846, il était assez fréquent sur les pentes, entre le mont Boron et Monte-Carlo ; c'était, d'après cet auteur, de beaucoup le point le plus septentrional atteint par les palmiers en Europe. Actuellement, on a introduit plus de 70 espèces de palmiers sur la Côte d'Azur.

Toute la zone méditerranéenne représente un monde floral très différent de celui du reste de la France et pourtant, en tracer ses limites précises, n'est pas si facile qu'on le croirait.

Le chêne vert (yeuse) paraît bien typique et cependant, on le rencontre sur les bords de l'Atlantique jusqu'en Bretagne. Le chêne-kermès indique déjà, à l'intérieur de la région étudiée un stade de dégradation.

La limite de l'olivier bien qu'artificielle et bien que le botaniste n'aime guère tracer une frontière d'après une plante cultivée, est suivant GAUSSEN et SION (79 et 141), la meilleure encore à adopter. Ce dernier auteur dit notamment :

« L'opinion courante qui a fait de l'olivier le symbole de la « région méditerranéenne, a pour elle la parfaite adaptation de cet « arbre au climat et la coïncidence de sa limite avec celle de nombreuses « plantes bien méditerranéennes. »

Cette opinion est d'ailleurs partagée par EMBERGER (62) qui considère l'olivier comme un « élément indicateur synthétique. »

Les plantes méditerranéennes appartiennent surtout à des familles de plantes annuelles et de géophytes ; citons une curieuse plante des garrigues calcaires sur laquelle GAUSSEN (69) attire particulièrement l'attention : le *Chéorum*, notons également l'Aphyllanthe dont la jolie fleur bleue égaie au printemps ces solitudes blanches. Les composées, les papilionacées, les graminées, les crucifères, et certaines labiées aromatiques sont ainsi abondamment représentées.

De même que l'on peut avoir, quand les conditions sont favorables, des incursions de la flore holarctique dans le Midi ainsi que nous l'avons vu, de même des irradiations de la flore méditerranéenne peuvent atteindre d'autres régions françaises par le couloir Rhône-Saône notamment. Les phytogéographes appellent ces plantes les « latéméditerranéennes », pour les distinguer de celles qui restent cantonnées dans l'intérieur de la zone de l'olivier et qui sont les « euméditerranéennes ».

La plus typique de ce premier groupe, est le chêne blanc ou pubescent. Dans la région du Bas-Rhône, la limite de l'olivier est assez nette au nord-est et nord-ouest car cet arbre trouve une protection contre le mistral à l'abri des Cévennes et des chaînes subalpines ; aussi la limite pénètre profondément dans les vallées abritées. C'est ainsi que les olives de Nyons et du Buis-en-Baronnies sont renommées. Par contre, cet arbre évite les pays découverts de ces mêmes régions depuis le flanc nord du Ventoux jusqu'à la Cluse de Sisteron.

Au défilé de Donzère, que beaucoup considèrent comme la porte du Midi, l'olivier ne donne qu'irrégulièrement des fruits, mais sur la rive droite, un peu plus au nord, il niche bien à l'abri, sur les falaises de Rochemaure.

Dans cette région, comme le dit BLANCHARD (12) : « Une pente « bien abritée au sud, c'est un coin méditerranéen, l'autre versant « souffre des rigueurs d'un climat déjà continental. »

Signalons enfin que l'on trouve des colonies endémiques qui incarnent les témoins les plus anciens de la flore méditerranéenne.

C'est ainsi que l'on rencontre sur certains versants nords des montagnes calcaires des survivants méditerranéo-montagnards de la flore tertiaire, comme le *saxifraga cébennensis* (Pic Saint-Loup) et le *Diplotaxis* Gérardi (Sainte-Victoire).

Il est rare de trouver de tels endémiques dans la flore du Bas-Rhône. Récemment, cependant, MOLINIER et TALLON ont découvert un *Teucrium* inconnu habitant les petites mares temporaires (Leurons) de la Crau occidentale (115).

De la flore quaternaire, le marais de Raphel (Crau) a conservé tout un ensemble des survivants glaciaires.

Il nous faudrait remonter la vallée du Rhône jusque sur les terrasses fluvio-glaciaires du Bas-Dauphiné pour rencontrer à nouveau ces espèces.

3° La dégradation :

La végétation arbustive et arborescente méditerranéenne est très sensible aux destructions. La dégradation s'opère rapidement en certains endroits.

La forêt, dans le Bas-Rhône, vit sur un acquit des périodes géologiques antérieures. Sous le climat actuel elle est à sa limite. Elle n'entretient pas le sol ; elle n'en constitue qu'extrêmement peu. C'est la raison pour laquelle quand elle est entamée, elle ne se régénère plus (GEORGE) (72).

L'étude phytosociologique des forêts méditerranéennes du Midi de la France ne peut être conduite comme celle des forêts sous climats plus humides et surtout moins insolés, ainsi que le fait remarquer si justement KUHNHOLTZ-LORDAT (91). Dans les forêts du Massif Central ou des Vosges par exemple on se trouve en présence d'une végétation qui évolue assez rapidement vers le « climax » si les interventions de l'Homme sont prudentes (formes devenues stables étant données les conditions du milieu).

En forêt méditerranéenne, le phytosociologue est constamment en présence de stades régressifs et la physionomie de la garrigue apparaît. Cette régression est toutefois plus lente sur le sol siliceux (forêt de la Valbonne, dans le Gard notamment). Mais on est frappé de l'aspect particulier qu'offrent ces zones boisées du Midi de la France, si différentes de nos belles forêts du Centre et du Nord-Est.

Toutes les masses forestières en taillis, qui constituent actuellement la presque totalité des basses montagnes de la région du Bas-Rhône ont eu pour origine des massifs, dont la manière d'être ne peut avoir été que celle de futaies naturelles plus ou moins claires, mais se régénérant régulièrement par semences. Leur transformation à l'état de taillis, remonte très probablement à l'époque pré-romaine. En ce temps-là, la forêt a été, pour l'Homme, une zone de refuge, en même temps qu'elle lui fournissait des matériaux de construction et les produits de la cueillette (glands surtout).

En effet, la large vallée du Rhône fut longtemps inexploitable. Le paysan rencontra à ses débuts, trois obstacles : la montagne, le marécage et le bois méditerranéen. Ce dernier, plus facile à vaincre, fut attaqué d'abord, mais au cours des vingt siècles de l'Histoire de France, les forêts françaises ont subi pas à pas, les vicissitudes de notre pays. Les hauts et les bas de notre civilisation se reflètent nettement sur le patrimoine forestier. C'est ainsi que les Gallo-Romains avaient hardiment défriché nos plaines et nos collines : le Moyen Age à diverses reprises, par suite de la dévastation et de la ruine de nos campagnes (invasion des Barbares, Guerre de Cent Ans, etc...) a vu de nouveau la forêt reprendre peu à peu en France le terrain perdu, sauf dans le Midi où la régénération est difficile.

L'hiver extrêmement rigoureux de 1709 fit dans nos forêts des dégâts énormes. Tous les pins de Provence furent détruits. « Ce qui fut pis encore, c'est que les blés ayant gelé en hiver, il survint une « famine épouvantable. Le gouvernement crut pouvoir obvier au « retour de pareilles calamités en favorisant l'extension de la culture « du blé ; plusieurs ordonnances encouragèrent et prônèrent le défrichement » (HUPPEL) (83). Ainsi l'homme, au cours des siècles, a involontairement élargi le champ des ravages dû aux intempéries en favorisant le ravinement par des déboisements intempestifs. Et, comme conclut si justement BRAUN-BLANQUET : « Une exploitation abusive millénaire, soutenue et constamment aggravée par le terrible fléau de l'incendie a fait disparaître les vastes forêts dont parlent les vieux auteurs. »

Attaquée sans cesse, la forêt laisse la place à des formes végétales inférieures qui se dégradent de plus en plus. C'est ainsi qu'au bois d'yeuse succède la garrigue (terrains calcaires) ou le maquis (sol siliceux), puis on peut arriver au terme ultime « l'erme » de éremus (désert) ou lande. Le maquis, un peu moins xérophile et plus fermé, est plus rare dans la région du Bas-Rhône. Nous le trouvons sur les sables de l'Astien, du Cénomaniens, sur la mollasse gréseuse du Comtat, du Tricastin et également de la Valbonne (Gard).

Deux essences précieuses dominent dans nos forêts méridionales : le chêne vert ou yeuse (*quercus ilex*) et le chêne pubescent

ou blanc (*quercus pubescens*). Nous les retrouvons en tête des deux principales associations végétales forestières du Midi méditerranéen. Leur répartition est plus influencée par la topographie, l'altitude et le profil hydrique que par le profil pédologique proprement dit.

De l'association du chêne pubescent (*Querceto-buxetum*) on passe par dégradation au bois de pin sylvestre, aux lavanderaies à lavande vraie, aux pelouses à *Bromus erectus* et à *Brachypodium pinatum*, transformation que l'on observe à partir de 7 à 800 mètres sur les versants nord et est des Monts de Vaucluse, du Luberon et de la Sainte-Baume.

Tandis que, en basse altitude, de l'association du chêne vert (*Quercetum illicis*) on arrive par dégradation successive au bois de pin d'Alep, à la broussaille de chêne kermès (*Quercus coccifera*) à la garrigue de romarins et de genévriers, enfin, à la pelouse à *Brachypodium ramosum* et au faciès plus aride encore à *Asphodèle*. (Voir les schémas pages 96 et 97).

L'étonnante rusticité et la plasticité du chêne yeuse, son comportement d'essence d'ombre, sa faculté de drageonner, lui permettent de prendre une place qu'il occupera plus longuement que le chêne blanc, celui-ci adoptant les terrains plus profonds et moins secs.

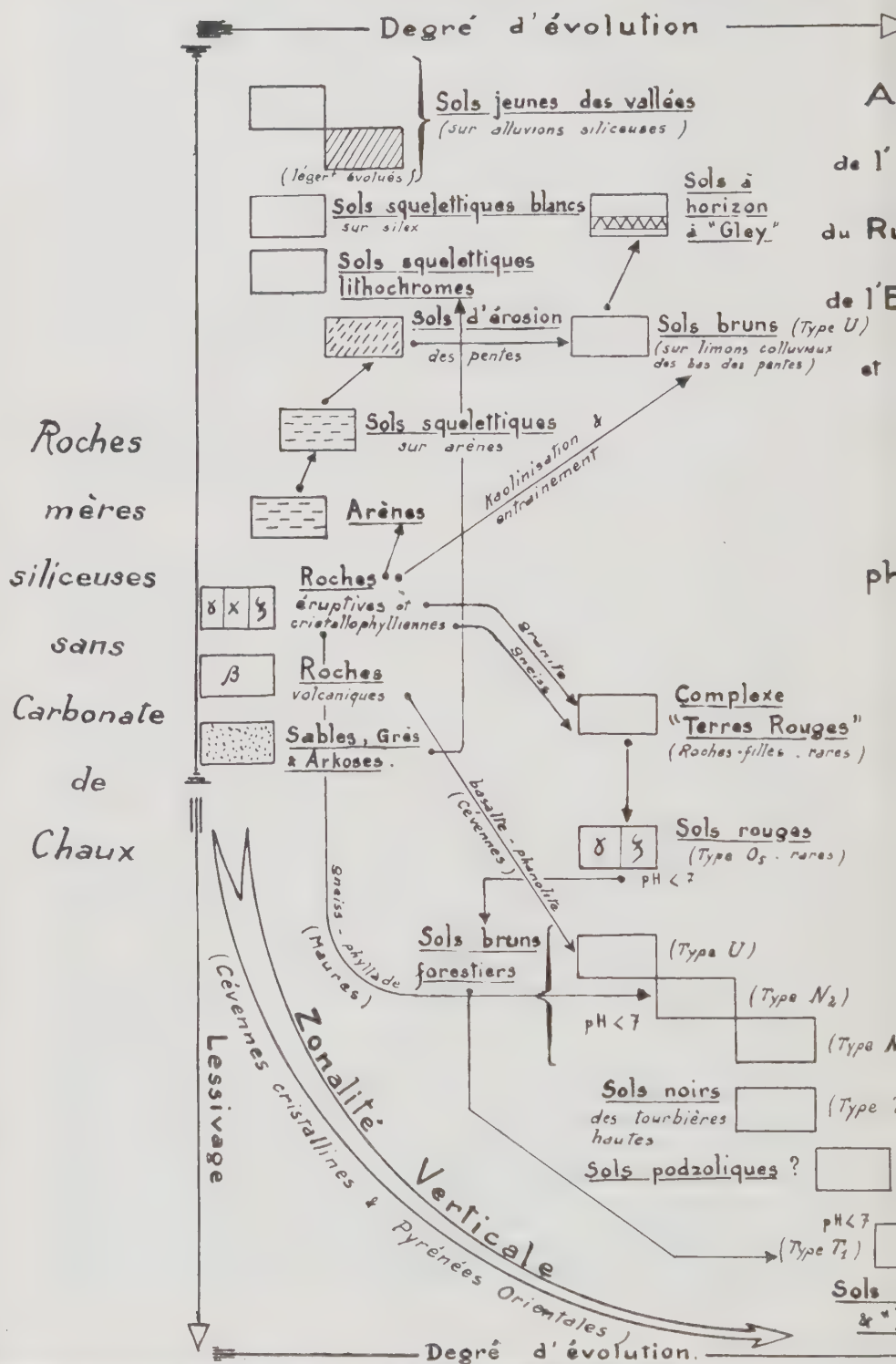
Nous trouvons encore en quelques endroits (là où la forêt doit son maintien à la protection officielle dont jouissent les territoires domaniaux), quelques beaux et vieux spécimens d'yeuses et de pubescents, à Javon (Vaucluse), à la Valbonne (Gard), à la Sainte-Baume (Bouches-du-Rhône et Var), à Cadarache (Bouches-du-Rhône, Var et Basses-Alpes).

Le pin d'Alep qui, d'après FLAHAUT (66), existe en France depuis l'époque pliocène, s'y trouve répandu tout le long du littoral méditerranéen et en Provence ; il dépasse rarement le Rhône et c'est le pin Laricio de Salzmann qui domine en Languedoc (Saint-Guilhem-le-Désert).

« Le pin d'Alep n'est qu'une essence pionnière et préparatoire « il peut prendre pied dans les sols ravinés réfractaires à toute autre « essence et, une fois installé, il améliore le micro-climat en atténuant « son caractère d'aridité. » BRAUN-BLANQUET.

Ce sera donc sous son couvert protecteur que l'on pourra songer à la restauration de la chênaie d'yeuse primitive dont l'équilibre est bien instable, sous la seule condition, toutefois, d'interdire les feux pastoraux en mettant efficacement en défense le territoire à reforester. L'Administration des Forêts a fait dans cette voie un très louable effort, mais elle est loin de contrôler la totalité de nos bois méridionaux. Arrivera-t-on malgré tout, à un résultat ? Nous n'osons l'espérer car durant la dernière guerre mondiale où tous les besoins furent énormes, l'exploitation intensive de nos taillis méditerranéens a eu de graves inconvénients. Les méfaits si terribles de l'érosion étant donné les conditions climatiques et topographiques de la région du Bas-Rhône, sont à redouter et avec eux, tout le cortège de cataclysmes, ravinements, inondations, de plus en plus graves

SOLS DE LA RÉGION MÉDITERRANÉENNE



ÉENNE ET DE SA BORDURE MONTAGNEUSE

Degré d'évolution

s :

n

ent

on

u

e

"

ontagne

n "

Sols blancs
tuffeux & coquilliers

Sols à horizon à "Gley"

Sols gris
jeunes, alluviaux
(sables (santouires) non irrigués
irrigués

Sols bruns calcaires
(Type L)

Sols squelettiques
(gris à jaunes sur marnes)
s/sables fluviaux et débris ou s/mollasses

Rendzines
(Type R)
noire

Calcaire tendre
Calcaire dur

Sols noirs palustres
et des tourbières basses

Complexe "Terres Rouges"
"Roches filles"

Diluvium rouge

O_1, O_2, O_3, O_4
 $pH > 7$
 O_1, O_3, O_4
 $pH = 7$
 O_3, O_4
 $pH < 7$
(au nord de Donzère)

Sols rouges

Méditerranéens

$O_1 \pm O_3 = \text{type endodynamomorphe}$
 $O_2 \pm O_4 = \text{type ecodynamomorphe}$

(Type N₂)

$pH > 7$
(Ventoux et plis provençaux)
 $pH < 7$
(Causse)
Type méditerranéen

Sols bruns forestiers

Type atlantique

$pH = 7$
(Type T₃)

Degré d'évolution

Teneur constante en calcaire

Roches mères avec Carbonate de Chaux

Phénomènes karstiques
Type O₂
grès-sables mollasses
Terrasses de cailloux roulés
Type O₄
Lœss
Parfois profils à croûtes
Perte partielle et accumulation de CO₂Ca dans les Roches-mères

Zonalité Verticale
(Alpes calcaires)

Lessivage

et fréquentes, entraînement et destructions des sols, enlèvement de la couverture vivante et de la couverture morte des taillis et forêts.

Le problème de la *conservation des sols*, et nous en reparlerons plus loin, si bien mis en évidence par RUSSELL (137) doit plus que jamais retenir notre attention, surtout dans la France méridionale et il est peut-être utile d'avoir présent à la mémoire la profonde réflexion de CHATEAUBRIAND : « Les forêts précèdent les hommes, les déserts les suivent. »

II. — Nomenclature et classification des sols du Bas-Rhône et de sa bordure montagnaise

La nomenclature et la classification des sols français, et, en particulier ceux de la région méditerranéenne, représentent un travail délicat. Il ne pourra d'ailleurs être définitif que le jour où l'on connaîtra à fond tous les types génétiques de la région étudiée. Leur classification reflètera alors fidèlement leur histoire.

En ce qui concerne notre pays, il ne faut pas perdre de vue qu'une certaine adaptation des conceptions pédologiques internationales est nécessaire, en effet, la France, sur la plus grande partie de son territoire, est soumise à un climat tempéré, ne présentant ni extrême de température, ni pluviosité excessive. Nos sols ont, dans l'ensemble, le caractère de sols de transition et les types extrêmes sont rares et localisés.

Le but de la classification et de la cartographie de nos sols français, est de mettre en évidence ces différences d'évolution qui correspondent d'ailleurs, à des différences de vocations culturales et de mode de culture. Toutefois, il ne faut pas oublier que si nous voulons, en pédologie, simplifier et classer pour notre commodité, la nature, au contraire multiplie sous nos pas les inégalités, les cas particuliers. Elle a horreur du standard de la production en série ; elle crée, en somme, en artiste et non en industriel. Ainsi, si nous voulons faire œuvre utile et obtenir des résultats satisfaisants, il nous faudra abandonner, en cartographie, les trop petites échelles, toujours schématiques, et ce sera seulement dans les limites plus restreintes, qu'il nous faudra chercher une identité complète de méthodes, permettant de classer, dans un même groupe, les sols ayant des propriétés et des caractères semblables.

Mais, l'établissement des règles internationales, pour la nomenclature et la classification des sols, ne paraît pas devoir encore être réalisé. Bien des auteurs ont présenté, sous des jours différents, au dernier Congrès International de la Science du Sol, à Oxford, en 1935, de nombreuses méthodes de classification.

Les travaux de ROBINSON en Angleterre, de SCHAW, de MARBUT, de KELLOG aux Etats-Unis, de STREMMER en Allemagne, de DEL VILLAR en Espagne et enfin de OUDIN et de ses collaborateurs en France, sont les plus connus. Si tous les pédologues emploient des méthodes d'étude assez semblables, ils attachent par contre, une

importance plus ou moins grande aux différents facteurs d'évolution de la genèse des sols ; pour les uns, c'est le climat qui prime, pour les autres, c'est la roche-mère ou bien encore la végétation.

L'école russe, avec DOUKOUTCHAEF et ses élèves, notamment SIBIRTZER, avait mis en valeur, jadis, la loi de la zonalité. Elle est basée sur l'action prépondérante des facteurs climatiques. Ces sols « zonaux », complètement développés sont distribués à la surface des continents, suivant des bandes plus ou moins régulières, en relation avec les zones climatiques. Tel est le cas des *toundras*, des *podzols*, des *sols bruns forestiers*, des *tchernozem*, des *latérites*, etc. Cette zonalité peut s'observer dans le sens vertical, en montagne. Dans l'un ou l'autre cas, elle correspond à une répartition particulière des espèces végétales. Cette nomenclature de sols bien évolués, de sols « murs » ne prévoit que des cas typiques. Or, dans la région méditerranéenne que nous étudions il n'existe pas un seul des types des sols cités ci-dessus.

Tout en restant dans le cadre des sols à tendance zonale d'autres facteurs jouent, dans la genèse moins évoluée des sols français. Ceux-ci sont « endodynamomorphes », c'est-à-dire, encore sous l'influence de la roche-mère. Cette influence sera prépondérante dans les sols tout à fait azonaux (sols à peine formés).

Enfin, il existe un troisième groupe, les sols « intrazonaux » pour lesquels des facteurs particuliers locaux dominent également l'action climatique (sols salins en particulier).

Cette nomenclature est très large ; elle est de ce fait, admise par bien des pédologues, et est devenue, en quelque sorte classique. Elle servira de cadre dans lequel prendront place d'autres classifications plus détaillées, plus complètes.

Il y a lieu de signaler, qu'en Russie même, PRASOLOV propose une nomenclature des sols, conçue, non plus tant suivant les règles en somme rigides de la zonalité, mais basée sur les travaux qui ont précisé les limites de cette théorie et l'influence des divers autres facteurs d'évolution.

On se rapproche ainsi des principes de l'école française qui, déjà avec de GASPARIN et RISLER, attachait une importance prépondérante à la géologie superficielle (étude des roches-mères).

Les Anglo-Saxons insistent beaucoup, et avec juste raison d'ailleurs, sur le degré d'évolution des sols. Ils les classent en deux grandes catégories :

1^o Les *Pédalfers* où le lessivage a agi sur le calcaire, qui est éliminé, et sur certaines bases, ce qui a permis la peptisation et la migration du fer ;

2^o Les *Pédocalcs*, c'est-à-dire les sols calcaires, très peu ou pas lessivés. Cette classification initiale des sols correspond aux types zonaux et azonaux de l'école russe, tout en étant plus souple, et en indiquant mieux les caractères et les propriétés des sols.

D'autre part la différenciation de SCHAW (140) en *sols organiques* (teneur : 20 %) et en *sols minéraux*, qu'il place en tête de sa classification (d'ailleurs assez complexe par la suite) est à retenir mais

devra être précisée. En effet, le chiffre limite fixé par cet auteur (20 %), pour distinguer ces deux grandes classes de sols est à notre avis, beaucoup trop élevé, surtout pour les sols calcaires. Il y a lieu de remarquer, qu'à partir d'une dose de 8 %, la matière organique joue son rôle de liant, et modifie la structure du sol. On s'en aperçoit nettement à l'analyse de certains échantillons. On pourrait donc se servir de ce critérium pour abaisser par exemple à 10 %, la teneur en matière organique, à partir de laquelle on passera de sols « minéraux » aux sols « organiques » ; del VILLAR (151) classe ces derniers dans la série « oxyhumique ». Cet auteur a d'ailleurs adopté, pour l'ensemble des types de sols, ces cycles dont chacun correspond à un « métabolisme » chimique différent (série calcaire, série sodique, etc.). Cette conception nous paraît intéressante à retenir, notamment dans la différenciation des divers sols salins, dont nous parlerons plus loin.

STREMMER (143), dans l'établissement de sa carte d'Europe, se base sur deux notions : les types génétiques de sols, représentés par des teintes de fond diverses, et la nature du sol (argile, limon, etc.), figurée par des points ou des traits superposés.

Cette deuxième notion nous paraît primordiale pour les applications agronomiques ; ainsi, il nous paraît indispensable de se servir des résultats de l'analyse mécanique des sols (*argile, limon, sable fin, sable grossier*), pour définir les *types locaux* des sols régionaux, après classement dans les grands groupes.

La nomenclature et la classification proposées par OUDIN (120) et ses collaborateurs de l'Association Française pour l'Etude du Sol, est un travail *schématique*, préliminaire. Tout en servant de cadre aux pédologues français, il sera susceptible, au fur et à mesure qu'avanceront leurs travaux, de subir quelques modifications. Voici celles que nous proposons (voir le schéma p. 104), pour le Bas-Rhône et sa bordure montagneuse.

III. -- Applications agronomiques de l'étude des sols

Il s'agit de l'examen de deux profils de sols du Midi méditerranéen (région viticole). Le premier a été présenté aux Congressistes de la Conférence Internationale de Pédologie Méditerranéenne (1947), lors des excursions qui nous ont conduit de Montpellier à Marseille.

1° Examen d'un profil à Saint-Brès, près de Montpellier :

Nous remarquons, en partant de la surface, un horizon rouge de 0,50 cm. d'épaisseur. Cette terre, remuée par les labours, est plantée en vigne.

En dessous et tranchant nettement avec cette couche, nous avons un horizon plus clair, sablo-marneux, que l'on observe jusqu'au bas de la coupe, soit à 2 mètres de la surface.

Dans la terre rouge, au contact de l'horizon inférieur, on

remarque une quantité de petites balles ferrugineuses, de la grosseur d'un pois.

Dans l'horizon inférieur et à sa partie supérieure, on observe une grande quantité de nodules calcaires, blancs, d'aspect farineux.

Si l'on fait un examen sommaire au moyen de la fiole à acide chlorhydrique dilué, on s'aperçoit que l'horizon rouge, de surface est décalcifié. A 50 cm. de profondeur, en pénétrant dans l'horizon inférieur, on se trouve au contraire en zone très fortement calcaire.

C'est sur ce point particulier qu'il convient d'insister. En effet, le Praticien qui veut créer un vignoble désirera connaître en l'occurrence, le bon porte-greffe. Or, ceux-ci sont plus ou moins sensibles au calcaire.

Le Viticulteur non averti, prélèvera un échantillon dans les 40 cm. de l'horizon supérieur et l'enverra à analyser à un Laboratoire. Ne trouvant pas de calcaire, on lui conseillera un porte-greffe non résistant au carbonate de chaux, comme le Riparia-Gloire, qui, en fait, est bien indiqué pour cette terre.

Mais, pratiquement, au bout de quelques années, les racines de la vigne se développeront et atteindront la zone calcaire, ce qui risque de provoquer la chlorose du vignoble.

C'est pourquoi, nous conseillons, pour les prélèvements d'échantillons de terre, de ne jamais mélanger les différents horizons et de prélever des échantillons dans chaque couche, jusqu'à la roche-mère incluse surtout si elle est meuble, quelle qu'en soit la profondeur (jusqu'à 2 mètres).

Les vieilles notions de « terre arable » et de sous-« sol » n'ont plus guère de valeur, quand il s'agit de plantations arbustives, telles que la vigne et les arbres fruitiers.

Quant à la genèse de ce sol, nous admettons que nous sommes en présence d'un profil *complexe*.

L'horizon rouge supérieur provient d'un apport colluvial des sols rouges sur cailloutis pliocène (Roche-Mère), recouvrant les collines voisines.

C'est, de plus, un sol remanié par les cultures (vignes) une « terre », ce que del VILLAR, appelle « un sol au stade posthume agropédique. »

Les petites balles ferrugineuses ne forment pas une zone d'accumulation ferrugineuse, mais sont, tout simplement, des éléments détritiques provenant du démantèlement des surfaces jurassiques, situées à quelques centaines de mètres de Saint-Brès le long de la voie ferrée.

L'horizon inférieur constitue un substratum et non une roche-mère. Il s'agit de formations d'estuaires de l'Astien. Il y a eu jadis un sol formé aux dépens de ces sables. Il a disparu par érosion et il ne reste que les dépôts d'accumulations calcaires formés, soit par descensum, soit par ascensum (plus probable, vu le climat de cette époque).

2° Examen d'un profil de sol rouge sur cailloutis avec présence d'un conglomérat (taparas) dans la région rhodanienne :

Il s'agit des alluvions anciennes du Rhône, formant terrasses et dont nous reparlerons. Ce profil est classique dans la vallée du Rhône et sa vocation culturale est la vigne dans la zone où l'indice d'aridité est compris entre 10 et 20.

Ce sont, alors, des terres sèches et perméables, connues dans la région sous le nom de « gress » (à rapprocher des « graves de Bordeaux »).

Mais, il arrive que l'accumulation de calcaire, provenant du lessivage des horizons supérieurs, finit par cimenter les cailloutis en un conglomérat, véritable béton, parfois extrêmement dur. Son épaisseur, peut, même, atteindre plusieurs mètres (plateau de Valensole, dans la vallée de la Durance).

Ce conglomérat est bien connu des Agriculteurs de la Costière du Gard (au sud de Nîmes) ; ils l'ont appelé « taparas » parce qu'il ferme, qu'il bouche (tapa : en provençal).

Si ce conglomérat est à une profondeur suffisante, au-delà de 80 cm., ou s'il est fissuré ou mal aggloméré, il ne sera d'aucune gêne pour le développement des racines de la vigne.

Au contraire, s'il est peu profond et très compact, il modifie complètement la valeur du « gress ». Il forme un obstacle au développement radiculaire. Il devient ensuite, à la fois un facteur d'aridité en empêchant la remontée des réserves d'eau et un facteur d'humidité excessive en favorisant la saturation du profil hydrique dans les horizons supérieurs.

Ce conglomérat — taparas — peut empêcher toute culture de vigne et d'arbres fruitiers.

Le Viticulteur doit donc s'inquiéter de sa présence et de sa profondeur, au moment de la création d'un vignoble, quitte à employer, si l'opération est rentable, l'explosif agricole pour crever cette véritable cuirasse.

Un problème analogue se pose en Afrique du Nord pour les profils à croûtes. La présence de ces croûtes calcaires est assez répandue et comme elles sont superficielles, elles peuvent être un obstacle à certaines cultures arbustives, — la vigne notamment.

Dans un même ordre d'idée, la présence d'une couche argileuse à faible profondeur peut permettre l'accumulation d'eau et, comme conséquence, créer une zone réductrice asphyxiante (horizon à gley).

Nous l'avons constaté en maints endroits de la plaine du Rhône, sur certains vignobles de raisin de table.

— D'autre part, la Pédologie joue un rôle important dans les opérations de remembrement des terres. Cette technique est à envisager dans la zone d'aménagement du Rhône, Donzère-Mon-dragon.

Le remembrement a en effet, pour objet d'attribuer à chaque propriétaire, dans chaque catégorie de terrain, une superficie de terre

équivalente, *en valeur de productivité*, à celle qu'il possède dans le périmètre soumis au remembrement (Loi du 9 mars 1941).

Le problème de remembrement est donc complexe et délicat. Au point de vue technique il comprend deux étapes :

1° *La prospection pédologique* qui reste à la base de la détermination des *catégories de terrains* et de l'adaptation des cultures, compte tenu des modifications apportées par l'Homme. (Cette opération est en cours sous notre direction dans les travaux du Rhône sus-cités.)

2° *La prospection agronomique* qui aura pour but d'établir la *classe de valeur de productivité* de ces sols en tenant compte de l'espèce végétale et du milieu.

IV. — Description et répartition des types de sols du Bas-Rhône

Leur nature agrolologique et leur vocation culturale

1° Sols rouges méditerranéens :

Le problème des sols rouges est complexe. Les nombreuses études que nous avons faites sur ce sujet, depuis près de vingt ans et que nous exposons dans les pages qui suivent permettent de jeter un peu de clarté sur cette délicate question.

Nous pouvons actuellement dire qu'il existe deux sortes de sols rouges dans le Bas-Rhône.

Un premier type de sol est issu, d'une part des « Terres Rouges » du calcaire compact et, d'autre part, du « Diluvium Rouge » des terrasses ; ces deux formations, d'âge tertiaire, que nous venons d'étudier et qui sont peut-être des horizons d'anciens sols disparus, doivent être considérées, actuellement comme des roches-mères. Ce ne sont plus les roches-mères géologiques initiales ; certains pédologues leur ont donné le nom de « Roches-filles ».

Un deuxième type de sol rouge provient de la roche-mère géologique en place, sans transformation intermédiaire. C'est le cas des sols rouges sur lœss, sur mollasse, sur grès, sur sables.

Dans la première catégorie, nous avons, *sous le climat méditerranéen*, un sol rouge peu évolué, à peine teinté d'humus. Il est en quelque sorte lithochrome et endodynamomorphe et assez souvent remanié par des apports éoliens et colluviaux.

Mais, ainsi que nous le verrons, l'évolution pédologique peut s'intensifier, soit sous un climat plus nordique, soit en altitude, sous un climat méditerranéen, *pour les Terres Rouges*. Il s'agit alors de zonalité verticale (Ventoux, en particulier). Le sol brun ou noir, ainsi formé est un sol climatique. Il en sera de même pour les sols rouges sur Diluvium qui, sous un climat plus humide, passent aux sols bruns (cas des terrasses rhodaniennes, près de Lyon).



Type de sols rouges méditerranéens



Le vignoble de Châteauneuf-du-Pape

Dans la deuxième catégorie, on a un sol plus évolué (ectodynamomorphe) qui a pris naissance superficiellement sous le climat méditerranéen au début du quaternaire. Ici, la décalcification et la ferrugination ont un caractère pédogénique.

Il est difficile de se rendre compte si de tels sols (2^e catégorie) se forment encore sous le climat actuel du Midi de la France. Les sols rouges les plus récents, semblent être ceux que del VILLAR, nous a montré en Algérie, au cours du Congrès International de Pédologie Méditerranéenne de 1947. Il s'agit du profil complexe des dunes de Staoueli, près d'Alger, où existe une succession de deux sols à croûtes calcaires et horizons rouges fossilisés sous la dune actuelle non rubéfiée (Quaternaire). Une telle évolution sur des formations semblables et relativement récentes ne se rencontrent pas, à ma connaissance, dans le Midi de la France.

En somme, dans le Bas-Rhône et à basse altitude, les Terres Rouges et le Diluvium ont donné des sols peu évolués, tandis que les sols rouges anciens sur lœss, sables ou mollasse ont subi sur place une nette évolution sous un climat chaud et humide du Quaternaire (Chelléen). Il en résulte, comme le signale GEZE (74) que le climat méditerranéen actuel est un climat de conservation et non de genèse.

* * *

a) Sols rouges sur « Terres rouges » des calcaires compacts.

(Passage aux sols bruns et noirs en altitude)

Dans toute la zone du calcaire compact de la région du Bas-Rhône, dans l'Ardèche, sur le plateau de Bourg-Saint-Andéol dans le Gard, sur les garrigues de Nîmes, d'Uzès, de Rochefort, de Villeneuve-lez-Avignon, d'Aramon ; dans le Vaucluse, les Basses-Alpes et la Drôme, sur les pentes du Ventoux, de la Lure, des Monts de Vaucluse, du Lubéron et sur le plateau de Saint-Christol ; dans les Bouches-du-Rhône enfin, sur la Montagnette et sur les Alpilles, nous avons observé un nombre assez considérable de profils ou plus exactement de ces poches de « Terres Rouges », de petites dolines mises à jour par la construction des routes. Elles présentent toutes l'aspect suivant :

Entre les parois ouvertes du calcaire compact très fissuré, cette formation de « Terres Rouges » apparaît enfouie dans les fentes et dans la cavité principale. Quand les éléments détritiques de ce complexe ne le souillent pas trop, il a l'aspect gras, luisant, caractéristique de la Terra-Rossa à l'état pur. Souvent des dépôts de calcite, en forme de géodes, se rencontrent le long de la paroi de cette petite doline ouverte ; quelquefois, on trouve également dans la partie inférieure des poutres calcaires, analogues à celles du lœss. Ces concrétions sont dues à un phénomène de géochimie, indépendant des causes essentielles de la production des Terres Rouges.

Très souvent, là où nous avons fait nos observations, la partie supérieure de ces poches est boisée (chêne vert ou chêne pubescent). Alors apparaît un sol proprement dit, à structure grenue, très peu calcaire et se différenciant nettement des « Terres Rouges » sous-jacentes. Au point de vue pédologique, on observe un horizon A_0 , rarement important, un horizon A, constituant l'essentiel du sol et reposant sur la « Terre Rouge », formant l'horizon C (roche-mère). A cause de la présence d'humus et de matières organiques en décomposition, A_0 et A peuvent avoir une couleur plus foncée que l'horizon C. Quoi qu'il en soit, en basse altitude, l'humus ne suffit pas à masquer la couleur rouge. Et c'est pourquoi nous avons classé ce sol dans la catégorie des sols peu évolués. (1^{er} type).

Dans les poljés, sur les pénéplaines (plateau de Saint-Christol, notamment) le complexe « Terre Rouge », dégagé des cavités karstiques où il a pris naissance, a pu se répandre sur la surface relativement plane, où l'érosion ne l'a entraîné que le long des combes et sur les bords des dolines. Mais, dans le pays de Sault, l'épaisseur de ces formations n'est pas bien grande, de 10 à 40 centimètres, car elles sont moins bien protégées que les argiles à silex de la craie, auxquelles on peut les comparer, et il n'existe pas, comme en Normandie, un manteau protecteur sableux datant du Tertiaire ou du Quaternaire.

Dans les parties horizontales, la transformation *in situ* de ces « Terres Rouges », en sol rouge, a pu normalement s'opérer et, comme l'épaisseur n'est jamais grande (maximum 50 cm.) celle-ci est presque intégrale. La roche-mère « Terres Rouges » n'existe plus alors, qu'à certains endroits, à 40 cm. de profondeur, elle est accrochée dans les diaclases et petites poches du calcaire compact. Ces sols ainsi formés, renferment, dans ce cas, tous les éléments détritiques de la roche-mère « Terres Rouges ». Les processus pédologiques ont alors envahi toute la couche meuble, et le sol rouge repose directement sur le calcaire sans que celui-ci puisse être considéré comme sa roche-mère.

Ce type de sol est-il spécial à la région méditerranéenne? Non, puisque une origine macroclimatique de surface ne peut être donnée aux « Terres Rouges » ; nous ne serons pas étonnés, par conséquent, de constater une analogie complète, dans leur mode de formation particulière, que ce soient les « Terres Rouges » des calcaires de la Provence, que ce soient celles de Dalmatie et de Grèce ou même celles des Charentes, du Jura et d'Amérique. Le gisement et la composition apparente sont les mêmes (microclimat spécial de profondeur). Seul, le sol issu de ces « Terres Rouges » est susceptible d'évoluer différemment, suivant le macroclimat. C'est ainsi que, dans les régions méditerranéennes, le peu d'humus n'arrivera jamais, *en basse altitude*, à masquer la couleur rouge qui dominera toujours. On aura un type à peu près stable, à un horizon (sol endodynamomorphe).

A l'altitude de 800 à 1.000 mètres (plateau de Saint-Christols notamment) ces mêmes « Terres Rouges » donneront naissance, sous couverture forestière (chêne pubescent), ou en zone récemmen

déboisée, à un *sol brun* (U), tendant vers le type forestier (Braunerde). Si nous montons au-dessus de 1.000 mètres (Ventoux) par exemple, on passe insensiblement au *sol noir de montagne* (T₃) (zone des hêtres et conifères), dernier stade avant la pelouse à « Humus Alpin ». Dans ces deux derniers types de sols, l'humus masque la rubéfaction. La proportion de fer libre y est même plus élevée que dans les sols rouges. Dans ces deux cas nous avons affaire à des sols évolués (ectodynamomorphes).

Cette orientation vers ces trois types de sols différents, issus de la même roche-mère, est due à l'action du climat, du relief, de la végétation, facteurs d'évolution de la genèse des sols qui subissent, dans les trois cas considérés, des modifications importantes.

D'ailleurs, nous observons ces mêmes phénomènes en dehors de la région du Bas-Rhône. Les masses de « Terres Rouges », sur les grandes causses de Lozère, en climat océanique, donnent naissance à un sol brun à deux horizons. Un sol brun existe aussi sur les calcaires jurassiques de la haute Bourgogne. COMEL (43) signale que dans le Carso, la végétation peut transformer la « Terra Rossa » en terre brune et même en terre noire. Enfin, il y a peut-être lieu de rapprocher la genèse de ces sols noirs de montagne de celle des « tirs marocains » qui, d'après GENTIL (71) se forment par le mélange des produits de la désagrégation et de la décalcification du calcaire et des débris de plantes (prairies à graminées) très vigoureuses sous le climat atlantique chaud et humide.

Nous donnons ci-après, la description des profils de ces trois sols, issus des « Terres Rouges » sur calcaire Barrémien et suivant une zonalité verticale observée dans le massif du Ventoux :

Profil N° 1 : Sol rouge méditerranéen sur « Terres Rouges » des calcaires compacts (Barrémien).

Situation : Garrigue de la vallée de la Nesque (près de Villesur-Auzon) altitude 180 mètres, versant méridional.

Flore spontanée : Phylum du chêne vert (*Quercus ilex*) et des premiers stades de dégradation, chêne Kermès (*Q. coccifera*) avec les différentes associations végétales décrites par BRAUN-BLANQUET (32).

Horizons : A₀ de 2 à 3 cm. spongieux, formé de débris de feuilles et de brindilles.

A (sol rouge) de 12 à 15 cm. structure granuleuse.

C Roche-mère constituée par les « Terres Rouges » de structure compacte et enfoncée dans les lapiaz et les petites dolines tapissées de concrétions calcaires et de cristaux de calcite.

Profil N° 2 : Sol brun forestier sur « Terres Rouges » des calcaires compacts (Barrémien).

Situation : Plateau de Sault, Saint-Christol (Vaucluse) altitude 800 mètres.

Flore spontanée : Phylum du chêne blanc (*Q. pubescens*) et comme

strate herbacée, l'aphyllante et des labiées aromatiques (lavande vraie, thym, sariette avec *bromus erectus* et *brachypodium pinnatum*).

Horizons : Les mêmes que ceux du profil N° 1. Toutefois, à cette altitude, le sol (Horizon A) est plus riche en humus (couleur brune).

Profil N° 3 : Sol noir de montagne (sous climat méditerranéen).

Situation : Prairie du Mont Serein au Ventoux (Vaucluse), versant nord, altitude 1.450 mètres.

Flore spontanée : Pelouse à *festuca ovina*, à *plantago medicago* à *gallium verum*, à la lisière des pins à crochets.

Horizons : A₀ de 5 à 6 cm. constitué par le feutrage des racines des plantes herbacées, très spongieux.

A, sol noir de 15 à 18 cm., à structure granuleuse avec quelques fins débris de calcaire provenant du substratum (calcaire Barrémien). Ce sol se différencie encore des véritables humus alpins ; pour ces derniers, il importe de bien définir l'association végétale, puisqu'il s'agit de sols phytogéniques (pelouses à *festuca spidicea*, à *nardus stricta*, à *deschampsia*, etc.).

Si ce problème des « Terres Rouges » et des sols issus de cette roche-mère a longuement retenu notre attention c'est, d'une part, parce que ces formations sont le trait le plus frappant de la surface du sol de nos régions méridionales, mais c'est aussi, d'autre part, parce que ces « Terres Rouges » ont donné lieu à un grand nombre de recherches, insuffisamment liées les unes aux autres. Il n'est malheureusement pas possible dans le cadre de cette étude, de passer en revue la nombreuse suite de travaux consacrés aux « Terres Rouges », par des spécialistes appartenant à diverses disciplines et à différents pays, notamment BLANCK (13), AGAFONOFF (2), LEININGEN (96), REIFENBERG (130), HARRASSOWITZ (81), COMEL (43), del VILLAR (151), STREMMER (143), HOLLSTEIN (87), GALDIERI (67), KRAMER (90), JOFFE (88), BRAUN-BLANQUET (32), STEBUTT (142), MARCELIN (98), etc...

Nous nous contenterons ici, de nous reporter au travail le plus récent sur les sols des pays méditerranéens, celui de HOLLSTEIN (87) où notre manière de voir, à quelques détails près, s'accorde parfaitement, sur les points principaux, avec les théories émises par cet auteur et certains autres cités par lui.

Premier point. — HOLLSTEIN soutient la thèse du « résidu » admise par LEININGEN pour la genèse des « Terres Rouges » et ne contredit pas la théorie de la migration du fer issu du calcaire (BLANCK). L'auteur fait également remarquer, très justement, que l'on ne peut pas établir la genèse des « Terres Rouges » en un point donné, ce qui correspond à notre conception de formation colluviale.

Deuxième point. — La désignation de la « Terra Rossa » est pour HOLLSTEIN beaucoup trop large et il reconnaît qu'il est juste que ce nom soit absolument limité à la terre rouge sur calcaire. Nous

avons vu que nous réservons ce nom à la partie des « Terres Rouges » réellement issue du calcaire et non souillée d'apports étrangers éoliens ou colluviaux.

Troisième point. — HOLLSTEIN insiste, comme nous, sur ce que les connaisseurs du domaine méditerranéen ont, dans ces dernières années, affirmé que souvent les sols de couleur rouge se rencontrent aussi sur les roches non carbonatées, et il cite le cas d'un grès arkose à fragments de schistes cristallins à Xanti (Grèce).

Quatrième point. — Les « Terres Rouges » ne sont pas pour lui, pas plus que pour nous, un horizon illuvial ; les phénomènes d'accumulation existent mais ils ne contribuent pas à la formation des « Terres Rouges », et se forment en elles.

Cinquième point. — Enfin, HOLLSTEIN reconnaît que dans le Karst : « la terre brune domine et se trouve au-dessus de la terre « rouge. Cette différenciation de couleur existe réellement et on peut « concevoir que la terre rouge se transforme en terre brune. » C'est la différenciation de couleur que nous avons déjà indiquée et l'évolution du sol rouge en sol brun sous l'action du climat ou de l'altitude.

On voit que l'accord, est à peu près complet avec notre point de vue et cela est d'autant plus intéressant que :

1^o Les régions étudiées, Grèce, Karst croatique, etc., sont éloignées de nos points d'observations et que

2^o Ces recherches ont été faites simultanément, avant la guerre de 1939, par HOLLSTEIN et par nous (avec la collaboration de MARCELIN dans le Gard).

Analyses de sols rouges méditerranéens (1^{er} type) sur « Terres Rouges ».

	1	2	3	4	5
	—	—	—	—	—
	%	%	%	%	%
Argile	46,1	46,2	45,0	13,4	4,5
Limon	20,5	22,1	22,0	40,3	25,5
Sable fin	10,0	23,4	25,4	2,6	28,8
Sable grossier	9,9	2,7	2,2	38,0	1,7
Matières organiques	7,4	5,6	4,9	5,7	0,2
Calcaire fin	0	0	2,4	traces	0
Calcaire grossier.....	1,3	0,2	1,2	0	0
Calcaire total	1,3	0,2	3,6	traces	0
Fer libre	0,62	1,13	0,88	—	0
Type.....	argileux		limono limono sablo- sableux argileux		

- | | |
|---|---|
| N° 1. Monts de Vaucluse près de Sault (Vse) | } sur substratum calcaire de l'Urgonien |
| N° 2. Monts de Vaucluse près Méthamis (Vse) | |
| N° 3. Garrigue Nîmoise près de Rochefort (Gard) | |
| N° 4. Lapiaz de Saint-Jean-de-Sault (Vse) | |
| N° 5. Rians (B.-d.-Rh.) sur calcaire du Jurassique dolomitique. | |

Répartition. — Nous voyons donc, d'après ce qui précède, le rapport étroit qui existe entre ces sols (rouges méditerranéens, bruns forestiers ou noirs de montagnes), et la nature du calcaire. Le calcaire dur, compact, siège des phénomènes karstiques et de la genèse du complexe « Terres Rouges » ne portera que ces dites formations. Nous verrons, au contraire, que les calcaires marneux donnent uniquement naissance à des sols squelettiques ou rendziniformes, parfois à des sols bruns (calcaires) peu évolués.

Les origines *bathyales* ou *néritiques* de ce substratum calcaire méritaient donc d'être rappelées. Il nous serait alors facile de *prévoir* où se trouveraient, d'après ce qui vient d'être dit, ces deux groupes de sols et même d'en tracer les limites, d'après les cartes géologiques ou mieux encore d'après les cartes des roches-mères, où apparaîtrait nettement cette différenciation entre calcaire compact et marneux. Mais, en réalité, tout ne se passe pas aussi simplement et le Pédologue qui parcourt toute cette région calcaire du Bas-Rhône, y observera successivement, sur *calcaire compact*, les formations géologiques, les roches-mères et les sols ci-après :

a) Le substratum calcaire, assez souvent à nu en montagne, mais ayant déjà subi l'action mécanique (Bouquet, barre du Lam-pourdier, Ventoux, Lure, Monts de Vaucluse, Lubéron, Plan d'Orgon, Saint-Jacques, Alpilles, Montagnette, bordure orientale de la garrigue nîmoise et du Plateau ardéchois, le long de la gouttière tectonique du Rhône).

b) Des éléments détritiques : restes d'une couverture lœssique, lehm, sur la rive droite du Rhône et sur l'ensemble de l'isthme durancien, des débris du quartz, de grès siliceux et des éléments sidérolithiques.

c) Des « Terres Rouges » dans les cavités karstiques ou bien encore entraînés dans les petits poljés, et sur les pénéplaines, dont la plus importante de la région que nous étudions, est le plateau de Saint-Christol.

d) Des sols rouges, 1^{er} type (O₁), en basse altitude, dans toutes ces zones de calcaire compact.

e) Des sols bruns forestiers (U), de 800 à 1.000 mètres (pays de Sault).

f) Des sols noirs de montagnes (T_s), au-delà de 1.000 mètres que nous avons observé à Lagarde (Monts de Vaucluse) et au Ventoux.

Cultures. — Les sols rouges et les sols bruns du pays de Sault (plateau de Saint-Christol), vu leur faible épaisseur (de 10 à 40 cm.)

et étant donné les conditions du climat (sécheresse estivale notamment), ne porteront que des cultures peu exigeantes. Le rendement des céréales y sera faible.

Dans tout ce pays de Sault, comme en bien des endroits de la Haute Provence, l'élevage du mouton et la culture s'adaptent l'un à l'autre et se complètent ; l'antique économie rurale a subsisté, à quelques lieues de distances des riches plaines alluvionnaires irriguées, portant les cultures maraîchères et fruitières ou bien encore le grand vignoble.

Le paysan de cette partie de la Haute Provence, isolé, loin de tout grand centre, de toute ligne de chemin de fer, a dû fournir de tout temps un grand labeur pour mettre en valeur ces terres peu fertiles. Nous en avons pour preuve, ces immenses et interminables talus ou petits murs de pierres, de toutes tailles, qui entourent les champs et qui proviennent de l'épierrage. (Dans cette région, le calcaire libère beaucoup de rognons de silex, dont nous reparlerons plus loin).

Les propriétés sont vastes, on y fait encore un peu de culture extensive, la jachère étant une pratique courante. Mais on tend tout de même, à adopter de plus en plus, un assolement quadriennal ainsi constitué :

Première année : pomme de terre.

Deuxième année : blé.

Troisième année : orge ou avoine.

Quatrième année : trèfle (une coupe et récolte des graines) semé dans la céréale de la précédente année.

Enfin, une culture spéciale, la seule vraiment rémunératrice depuis quelques années dans ces régions, retient l'attention, c'est la lavande.

Cette labiée trouve, sur une bonne partie des montagnes de la Haute Provence, son milieu favorable. Sur substratum calcaire, nous la trouvons sur le plateau de Saint-Christol et sur son pourtour (Saint-Jean, Lagarde) ; sur cailloutis des hautes terrasses, nous la signalons sur le plateau de Valensole (Basses-Alpes)

b) Sols rouges sur mollasse sableuse et sur grès calcarifère.

La mollasse sablo-calcaire et le grès calcarifère, assez friables, donnent la plupart du temps des sols squelettiques (présol), étant donné leur position topographique en pente, le long des montagnes et collines du Bas-Rhône. Il est donc assez rare d'observer une pédogenèse plus avancée sur de telles roches-mères, dans cette région. Nous avons relevé, sous couverture forestière, à Châteauneuf-du-Pape, en 1941 (domaine de Montredon), un profil d'un sol rouge d'un mètre d'épaisseur sur mollasse. La roche-mère n'est plus ici intacte sur toute son épaisseur : l'horizon supérieur est rouge et décalcifié ; la couche inférieure est jaunâtre et le lessivage du calcaire y est très prononcé encore. (Roche-mère altérée) (2^e type).

Un tel sol (O_2 de la classification de l'Association française pour l'étude du sol), ne peut s'observer que sur une zone pas trop en pente et sous couverture forestière (chênes verts et pubescents), conditions peu fréquentes dans la basse vallée du Rhône.

Nous avons observé des phénomènes analogues sur les grès calcarifères du Turonien (grès d'Uchaux), près des gares de Mornas et de Piolenc (Vaucluse) et sur les grès du Santonien-Conacien (région de la Ciotat et de Bandol). On a affaire à des roches-mères situées également dans une zone relativement plane, et sous couverture forestière.

Analyses

Sol rouge mollassique de Montredon (Vaucluse).

	%
Argile	19,6
Limon	19,4
Sable fin	43,5
Sable grossier	22,2
Matières organiques	0,3
Calcaire total	0,4

Sol rouge sur grès d'Uchaux (Vaucluse).

	%
Argile	17,2
Limon	16,2
Sable fin	42,3
Sable grossier	23,4
Matières organiques	1,9
Calcaire total	1,0

c) Sols rouges sur terrasses.

Du défile de Donzère, jusqu'aux abords même du delta du Rhône, on rencontre à différents niveaux, les terrasses à cailloux roulés, surmontées, dans bien des cas, d'un sol rouge caractéristique.

Nous l'avons étudié plus particulièrement dans certains profils bien nets à Morières, à Mazan, à Châteauneuf-du-Pape (Vaucluse). En surface, l'horizon A_0 est souvent absent sauf dans le cas où des arbustes (kermès) et des taillis de chênes verts occupent la terrasse inculte (cas de Morières). L'horizon A, de 20 à 40 cm., constitue le sol rouge ; de structure grenue, il est issu d'une part, du « diluvium » sous-jacent et d'autre part, il est constitué d'éléments sableux, fins, éoliens. Comme dans le cas du sol rouge sur « Terres Rouges », ce sol a une coloration légèrement plus foncée que celle du diluvium (présence d'humus). Cette dernière formation, dont nous avons gardé le nom donné par les géologues : *diluvium alpin* est en somme

une argile de décalcification (*) plus ou moins remaniée, elle tapisse les cailloux roulés et leurs interstices, sur une épaisseur d'environ 30 centimètres. Il s'agit d'une roche-mère, et nous avons montré l'analogie de sa formation avec celle des « Terres Rouges » (micro-climat humide, juste au-dessus de l'ancien niveau hydrostatique, et altération de la roche ou galets calcaires initiales. Dans le cas des alluvions fluvio-glaciaires (Bas-Dauphiné), et sur des terrasses analogues, cette roche-mère s'appelle *ferretto* (argile à blocs).

Immédiatement au-dessous, on rencontre souvent une zone d'accumulation de calcaire (15 cm.), soit sous forme de bancs de carbonate de chaux de néoformation, en couches feuilletées et agglomérées, soit sous forme de poudingue qui cimente les galets et cailloux roulés sous-jacents. Très souvent, ces deux dépôts se superposent dans toutes ces alluvions anciennes. Il y a lieu de rapprocher ces dépôts calcaires de néoformation des poupées et des cristaux de calcite qui tapissent les parois des poches de « Terres Rouges ». Ce conglomérat modifie l'aspect de la roche initiale que l'on ne rencontre seulement intacte qu'à une certaine profondeur, parfois à plus de 1 m. 50 de la surface.

Ce sol rouge des terrasses est très bien représenté sur tout le plateau de Mazan (Vaucluse). Son épaisseur est ici de 50 à 60 centimètres et du fait des apports éoliens, les cailloux sont un peu moins abondants en surface ; il est vrai que pour la mise en culture, on pratique l'épierreage. A Mazan également, on ne distingue plus à l'œil la formation diluvienne argileuse. Cette roche-mère est en train de se transformer entièrement en sol. A l'analyse, on distingue deux horizons rouges dont l'inférieur est plus argileux. Il ne s'agit pas d'une dégradation de ce sol, mais au contraire de sa phase de transformation, encore incomplète de la roche-mère (diluvium) en sol rouge.

C'est le même phénomène de pédogenèse que nous avons observé sur le plateau de Saint-Christol où la roche-mère « Terres Rouges » peu épaisse, se transformait intégralement en sol rouge.

Les dépôts éoliens, ou parfois de ruissellement, éléments de constitution de ces sols rouges des terrasses, ont pour conséquence de donner une proportion de terre fine qui va en décroissant avec la profondeur. A Châteauneuf-du-Pape (Vaucluse) au domaine de Fortia, elle est de 81,5 % jusqu'à 20 cm. de 74 % jusqu'à 40 cm., et de 36 % jusqu'à 70 cm.

Dans ces sols rouges des terrasses, nous rencontrerons divers types : sableux, sablo-argileux ; limono-sableux à éléments fins et limono-sableux. (1^{re} catégorie des sols rouges).

Profil hydrique. — Le diluvium argileux et le poudingue imperméable qui se trouvent, en général, à une faible profondeur, sont susceptibles de constituer, parfois un obstacle à l'écoulement des eaux. Il arrive, en effet, qu'on ne rencontre aucune fissure dans cette

(*) GEORGE (La région du Bas-Rhône) la désigne même sous le nom « terra rossa ».

zone imperméable ; à l'automne ou au printemps, la terrasse se couvre alors de flaques d'eau après les pluies ; il se forme de petits étangs sporadiques, tels ceux que l'on trouve en Costière et sur le plateau de la Bégude-de-Saze (Gard). D'autres sont permanents, comme ceux que l'on rencontre en Crau (étangs d'Entressen, de Meyranne et de Dezeaunes). Dans ces derniers cas, il s'agit d'un phénomène hydrologique un peu plus complexe. Le remblaiement, un peu incohérent de la nappe de cailloutis du Wurmien, a désorganisé le drainage local. Les eaux de ruissellement viennent ressortir à ces endroits sur le poudingue imperméable.

Analyses de sols rouges sur terrasses (O_3). - (1^{er} type).

	Mazan (Vaucluse)	Gadagne (Vaucluse)	Crau (B.-du-R.)
Argile	9,0	9,0	9,8
Limon	24,0	23,0	23,8
Sable fin	59,5	41,0	40,7
Sable grossier	5,3	24,1	17,1
Matières organiques	2,2	2,6	3,6
Calcaire fin	traces	0	0,3
Calcaire grossier.....	0	0,7	0,4
Calcaire total	traces	0,7	0,7
pH	7	7,2	7,1
Type.....	Limono- sableux	Limono- sableux	Limono- sableux

	Châteaun- du-Pape	Mallemort du Comtat	Costière du Gard
Argile	10,0	9,5	23,5
Limon	16,5	17,5	5
Sable fin	15,1	41	35,6
Sable grossier	54,9	30,4	34,3
Matières organiques	3,5	1,6	0,3
Calcaire fin	0	0	0
Calcaire grossier.....	0	0	0
Calcaire total	0	0	0
pH	7	7	7
Type.....	Sableux	Sableux	Sablo- argileux

Les sols rouges décalcifiés des terrasses rhodaniennes ont toujours, dans le Bas-Rhône et à quelques très rares exceptions près, un $pH \geq 7$. Au nord du Défilé de Donzère les mêmes sols ont un $pH < 7$ (action du climat). Ces faits ont été observés par nous sur les terrasses près de Valence, Romans et dans le Bas-Dauphiné.

Répartition. — L'exploitation, en maints endroits, des graviers des terrasses fluviales nous a donné l'occasion de relever de nombreux profils dans les carrières ainsi ouvertes.

C'est grâce à ce moyen que nous avons pu observer l'évolution du cailloutis des terrasses aux endroits suivants :

A Bourg-Saint-Andéol et Saint-Just (Ardèche), à Bouchet (Drôme), à Sainte-Cécile-les-Vignes, Violès, Châteauneuf-du-Pape, Orange, Sorgues, Carpentras, Mazan, Morières, Gadagne (Vaucluse), à Roquemaure, Saze, en Costière (Gard), en Petite Crau de Châteaurenard et en Crau (Bouches-du-Rhône), enfin, dans la vallée de la Durance sur le Plateau de Valensole (Basses-Alpes) et à Mérindol (Vaucluse).

Presque partout le cailloutis est assez altéré pour permettre, soit aux dépens du diluvium, soit par des apports éoliens et de ruissellement, la pédogenèse, des sols rouges des terrasses. Seules comme nous le verrons, certaines alluvions encore trop calcaires des basses terrasses (les plus récentes) ainsi que celles de la vallée de la Durance, avant le percement du passage de Sisteron, ne portent encore qu'un sol gris squelettique.

Action de l'irrigation et du colmatage (Crau et régions de Carpentras, du Pontet et de Morières, Vaucluse).

Plus on descend le cours du Rhône, plus le climat rend arides ces terrasses à cailloux roulés, surtout quand leur épaisseur est faible et que le poudingue, susceptible de retenir un peu l'eau, est profond. Aussi, l'irrigation a-t-elle complètement transformé ces régions. Comme on emploie presque uniquement l'eau limoneuse de la Durance (le canal de Carpentras, pour arroser les terrasses autour de cette ville, celui de Crillon pour les environs d'Avignon — basses terrasses du Morières et du Pontet — et enfin, celui de Craponne et des Alpilles pour la Crau), on effectue un colmatage assez rapide et on forme ainsi un sol artificiel « le nite » dont nous reparlerons (voir § Sols divers, page 154).

Vocation culturale.

Dans le Midi, les terrasses fluviales et les sols qui les surmontent (sols rouges ou gris) sont des zones sèches. Alors que les terrasses rhodaniennes du Bas-Dauphiné, au sud-est de Lyon, portent des cultures variées qui sont assez florissantes, l'aridité de ces mêmes sols se fait de plus en plus sentir au fur et à mesure que l'on descend le cours du Rhône. Déjà, dans la moyenne vallée, à Saint-Rambert, et dans la région des « Châssis » (Drôme), on n'y trouve guère que des cultures arbustives : cerisiers, pêchers et vignes. Ces dernières se maintiennent seules, avec quelques abricotiers, sur les terrasses du Bas-Rhône et enfin, en arrivant en Crau, c'est la steppe quasi désertique.

Le sol rouge des terrasses est le principal type de sol des vignobles des « Côtes-du-Rhône ».

Dans la basse vallée du Rhône, les sols sur terrasses, au point de vue cultural se divisent en plusieurs groupes bien caractéristiques. Il faut tout d'abord distinguer ceux qui sont irrigables ou non.

1° *Sols non arrosables :*

Région de Valréas (chênes truffiers).

Région de Sainte-Cécile et Tulette (vignobles des Côtes-du-Rhône).

Plateau de Saze (abricotiers et vignes).

Plateau de Mazan (cultures diverses, asperges et tomates de conserves).

(Ici le sol rouge, non caillouteux en surface, atteint une épaisseur assez grande).

— Plateau de Clary (Gard) et terrasses du Tricastin (bois de chênes verts, blaches).

(Deux des rares zones boisées des terrasses rhodaniennes).

Châteauneuf-du-Pape (type des vins de cru).

Costière du Gard (régions de vignobles et Clairette de Bellegarde).

Plan-de-Dieu (bois de chênes verts, vignobles et essais de culture du pyrèthre).

Plateau de Valensole (son altitude de 6 à 700 mètres lui permet la culture de la lavande vraie, à côté de quelques amandiers).

Région de Carpentras (chênes truffiers, vignobles).

Crau (la plus méridionale des terrasses, la plus aride, la plus ventée — aucune culture dans les « coussous »).

2° *Sols irrigables :*

Région de Carpentras (cultures maraîchères et surtout culture des fraises).

Banlieue sud-ouest d'Orange (cultures maraîchères et quelques fraises).

Région d'Avignon, Morières, le Pontet, Montfavet (cultures maraîchères et prairies artificielles).

Crau (prairies artificielles, luzernières et depuis peu, cultures maraîchères et essais de rizières).

(Il est bien entendu que nous ne parlons pas, pour le moment, des sols d'alluvions modernes irrigués également par les mêmes canaux).

Ainsi, en terrain non arrosable, les sols des terrasses médirionales, ne peuvent porter qu'une seule culture réellement rémunératrice, celle de la vigne, à condition de bénéficier des avantages de l'appellation d'origine : « Côtes-du-Rhône » car les rendements sont faibles (20 à 40 hectos maximum).

L'abricotier ne réussira qu'aux endroits où cet arbre trouvera, grâce au poudingue situé à une profondeur convenable et au substratum géologique (argile du Plaisancien ou de l'Astien inférieur),

une zone imperméable retenant un peu de fraîcheur (plateau de Saze).

Enfin, deux autres cultures peuvent encore revaloriser ce type de sol, la lavande en altitude, dont nous avons déjà parlé, et le chêne truffier, sur les basses terrasses.

Parmi les cultures irriguées deux retiendront notre attention : *les fraises et les prairies* ; elles paraissent bien adaptées à ces sols rouges des terrasses qui, d'ailleurs, passent en quelques années à l'état de paléosols grâce au colmatage ! Mais la nature de ce substratum, sa perméabilité semblent toujours jouer un rôle important à tel point que l'on peut parler de « crus » en nommant les fraises de Carpentras, les foins de Crau et de Montfavet. (La délimitation de ces deux crus de foins est actuellement à l'étude.)

La culture des fraises est apparue vers 1882 dans la région de Carpentras. Elle a pris vite un certain essor ; les fraises, grâce au « terroir », sont fermes, et résistent bien aux voyages lointains.

Cette culture exige des soins cultureux minutieux, notamment pour l'épandage d'engrais (suivi d'un balayage), pour l'arrosage qui doit éviter d'envahir les planches, pour la récolte et l'expédition qui réclament une armée de jeunes femmes habiles venant généralement des Cévennes.

Les foins de Crau étudiés par MOLINIER et TALLON (116) doivent leur valeur à leur faible teneur en cellulose. Ils ont une alcalinescence élevée. L'exploitation intensive des prairies de Crau, partant d'un sol pauvre à l'origine mais amélioré progressivement par le colmatage, exige malgré tout, un large emploi des engrais. D'après les expériences de MAUME (109) au centre expérimental du Merle, près de Salon, c'est surtout la fumure phosphatée et plus encore la fumure phospho-potassique qui augmentent la proportion des légumineuses et qui enrichit légumineuses et graminées en protéides.

d) Sols rouges sur marnes.

Les marnes et les argiles sont dans une position topographique telle, dans la région du Bas-Rhône, que l'érosion fait son œuvre ; la formation d'un sol est ainsi impossible. Comme dans le cas de la mollasse sableuse, ce sera donc dans des situations particulières et rares que l'on trouvera, sur cette roche-mère, un sol quelque peu évolué. Nous avons pu ainsi observer, à Roquemaure (Gard) un sol rouge assez évolué, sur marnes Astiennes. Ces dernières (Astien inférieur) forment dans cette région, à quelques mètres à peine de profondeur, sous les sables de l'Astien supérieur, une assise géologique assez étendue au pied des collines du Crétacé. L'érosion qui attaque les sables les met rarement à jour. Nous avons pu néanmoins trouver un des points d'affleurement de cette marne, dans le thalweg de l'ancien passage du Rhône par la brèche de Saint-Laurent-des-Arbres, entre Roquemaure et Lirac (Gard). Nous avons identifié le profil suivant *sous couverture forestière* (chênes pubescents) :

En surface un horizon A₀, puis un horizon A, constitué par un sol rouge à structure grenue (20 à 25 cm.). On distingue dans la marne sous-jacente C₁, une altération déjà marquée; la partie supérieure est nettement rubéfiée et, à 1 m. 50 de profondeur, apparaît la zone d'accumulation du calcaire (de néoformation, sous forme de petits nodules très friables, au milieu des strates marneuses. En dessous se trouve la roche-mère intacte C, constituée par les marnes astiennes à Potamides.

Ce sol rouge (2^e type) sur marne fait également partie du groupe O₂ de la classification de l'Association française pour l'Etude du Sol.

Sol rouge « enterré » sur marnes du Pliocène moyen à Barbegal.

1^o Sol colluvial du cailloutis de la Crau (25-30 cm.);

2^o A : Horizon supérieur moins argileux (12-15 cm.) Sol rouge non décalcifié;

A₁ : Horizon inférieur plus argileux et plus rubéfié (20 cm.). Sol rouge non décalcifié;

C₁ : Marne fortement altérée, avec concrétions calcaires et contenant des chlorures (sur les éboulis du talus, présence de plantes halophiles);

C₂ : Marne du Pliocène moyen intacte.

Analyses physiques

	A	A ₁	C ₁
	—	—	—
Argile	19,5	24	20
Limon	37	36,5	35
Sables totaux	43,5	40,0	45,1
Sables grossiers	13,1	11,5	26,9
Sables fins	30,4	18,5	18,2
Calcaire total	20,5	14,6	69,2
Matières organiques	1,8	1,5	1,0

Analyses chimiques

	A	A ₁	C ₁
	—	—	—
Azote	0,9	0,75	0,5
Acide phosphorique assimilable	traces	traces	traces
Potasse assimilable	15	10	35
Chlorures.....	0	0	3,5

e) Sols rouges lœssiques.

Nous avons vu que le lœss, étudié par SUEN TANG YUET (144) dans la moyenne vallée du Rhône, est reconnu par les géologues, qui le font figurer sur leurs cartes sous l'indice A₁, a été nettement identifié, dans le Gard, par MARCELIN (104). Or, ces dépôts

ne sont nullement représentés sur les cartes géologiques de la basse vallée du Rhône. Ils sont englobés avec les limons et les éboulis (lettre A). Cette conception est aujourd'hui inadmissible pour peu que l'on ait vu les importants dépôts lœssiques de Collias, notamment.

Non seulement le lœss existe, mais, en maints endroits il a donné naissance à un sol rouge bien caractéristique. Les profils examinés dans le Gard, en Costière, à Collias, à Saint-Maximin, à Tavel et à Roquemaure, sont ainsi constitués : en surface, un horizon A₀, très restreint, et un horizon A d'environ 40 centimètres qui forme le sol rouge à éléments fins, sans calcaire. Ce sol a dû certainement avoir une extension et une épaisseur plus grande, car il est facilement dénudé par le vent et les eaux ; l'érosion a creusé dans ces formations, en certains endroits, de véritables petits cañons (cirque de Devès, entre Roquemaure et Saint-Laurent-des-Arbres, réseaux des ravins de Collias, Gard).

En dessous de ce sol rouge, nous trouvons la roche-mère (C), d'épaisseur variable, de 1 à 5 ou 6 mètres (Collias), c'est le lœss de couleur jaune clair, avec sa structure caractéristique ; celui-ci n'est d'ailleurs plus entièrement intact. Un lessivage léger a commencé son action, et on trouve, à la partie inférieure, au contact avec le substratum, un horizon d'accumulation non stratifié, un peu plus foncé et un peu plus argileux. C'est dans cette zone que nous trouvons des petits nodules ou lits de calcaire friable, bien blanc, de néoformation, et presque toujours quelques poupées, si caractéristiques de ce sédiment éolien.

Mais il existe des endroits, sur la garrigue calcaire, où l'épaisseur du lœss est réduite à quelques centimètres, et où la transformation en sol rouge décalcifié s'est faite sur la totalité des 20 à 40 centimètres de ces dépôts. C'est le cas de ceux de Campefiel, près de Nîmes, des Angles, près d'Avignon et de Roquemaure (collines du Lampourdier), où la roche-mère lœssique a été intégralement transformée. On observe ce phénomène en certains points de la Costière. Dans ce dernier cas, le sol rouge lœssique, reposant sur le cailloutis de cette terrasse rhodanienne, a au cours de sa pédogenèse, par suite de la migration du carbonate de chaux, cimenté la partie supérieure du cailloutis. Ce « taparas » superficiel peut paraître surprenant si on examine uniquement, dans ce profil complexe, l'évolution du cailloutis. Ce phénomène s'observe plus complètement aux Portes de Valence (route de Romans) où les dépôts fluviatiles à cailloux roulés sont également recouverts de sol rouge lœssique. Un premier conglomérat apparaît immédiatement au-dessous de ce dernier, en contact avec la terrasse et dont la formation est due à la pédogenèse du lœss. On trouve un deuxième conglomérat, à environ 1 mètre de profondeur, dans la masse de cailloutis et provenant de l'évolution plus ancienne de la terrasse.

Ces dépôts lœssiques ont dans la région du Bas-Rhône, un substratum assez perméable : calcaire dur et fissuré de l'Urgonien (sur la garrigue nîmoise et les plateaux ardéchois) alluvions anciennes et terrasses à cailloux roulés (à Collias, Lédénon et Garons), sables

fluviatiles ou d'estuaire (à Roquemaure, Rochefort et Tavel), enfin des sables et des grès (à Saint-Gervais, à la Valbonne, à Saint-Martin-d'Ardèche). C'est seulement à Tresque (Gard), où certains dépôts lœssiques reposent sur des marnes plaisanciennes.

Cette énumération nous indique ainsi la répartition des lœss, et éventuellement des sols rouges qui les surmontent, mais ces derniers sont loin d'exister partout.

On voit d'autre part, que ces limons éoliens, se rencontrent presque toujours sur la rive droite du Rhône. Pourtant, on peut les signaler plus ou moins remaniés en quelques points de la rive gauche : à Barbentane (Bouches-du-Rhône), sur la Montagnette ; à Carpentras (Vaucluse), sur la terrasse locale de cailloux roulés ; sur la terrasse du champ de manœuvre d'Orange ; au sud du Marais des Baux, plaqués contre le rebord du cailloutis de la Crau. Enfin, dans la vallée moyenne de la Durance, un lœss fin recouvre les terrasses, aux environs de Manosque et la Brillanne (Basses-Alpes).

Ces sols rouges lœssiques n'occupent donc plus de grandes surfaces. Ils sont bien typiques, toutefois, et cette lehmification rappelle avec moins d'ampleur celle que l'on observe en Alsace et dans le Nord. Par contre, on rencontrera pas mal de dépôts lœssiques proprement dits, jaunâtres et souvent remaniés. Certains renferment des éléments détritiques roulés, de petite taille, ce qui laisse croire que de tels lœss ont dû être repris par des transports colluviaux et mélangés à des dépôts de ruissellement sans caractère éolien. Ces sols seront donc classés dans les sols remaniés ou de passage.

Les sols rouges lœssiques font partie du groupe O_4 de la classification de l'Association française pour l'Etude du Sol (2^e type).

Analyse de sols rouges lœssiques (O_4)

	Campefiel près Nîmes	Bellevue près Avignon	Costière du Gard rte St-Gille
Argile	25,5	30,0	21,9
Limon	4,6	16,5	16,0
Sable fin	65,4	49,0	55,2
Sable grossier	1,8	3,9	6,9
Matières organiques	0,8	0,2	1,4
Calcaire fin	1,4	0,4	0
Calcaire grossier.....	0,2	0,3	0
Calcaire total	1,6	0,7	0
Fer libre	1,33	1,25	—
Type.....	Sablo- argileux	Sablo- argileux	Sablo- limoneux- argileux

Vocation culturale. — La route nationale qui relie Nîmes à Avignon, traverse ou longe une partie de la garrigue. On est étonné, quand on emprunte ce chemin, de passer d'un paysage aride, à des zones cultivées, de fraîcheur relative, qui contrastent avec la sécheresse avoisinante. La couverture læssique, qui recouvre par endroits encore la roche blanche du Crétacé, en est la cause.

C'est ainsi, qu'avant de redescendre sur Avignon, on trouve sur la pénélaine des Angles, des champs de céréales, des abricotiers, des amandiers, des vignes qui plongent leurs racines dans la mince couche de sol rouge læssique. On retrouve ces mêmes cultures dans les autres petits bassins fermés de la garrigue nîmoise, mais ici la terre arable est alors constituée par notre sol rouge sur « Terres Rouges » précédemment décrit. Ce sont de maigres cultures, aux rendements faibles, car le sol rouge, reposant directement sur le substratum calcaire, atteint à peine 20 à 30 centimètres d'épaisseur.

Sur la Costière du Gard, le læss, surmonté de son sol rouge atteint à certains endroits, plus d'un mètre de hauteur ; il permet un plus large choix de cultures ; celle des plants de vignes est très prospère (pépinières).

Les sols læssiques, dans la moyenne vallée du Rhône, reposant sur des roches moins perméables, et étant sous un climat moins sec, sont considérées comme de bonnes terres de culture (régions de Touloud, dans l'Ardèche, et de Larnage, dans la Drôme). Aussi, tout comme les limons fluviaux modernes, ne portent-ils pas de vignobles à appellation d'origine. On peut être moins sévère à leur égard, dans la basse vallée du Rhône, d'abord parce que leur épaisseur (sauf à Collias et à la Valbonne, où alors on se trouve en zone boisée) est généralement faible, ensuite parce que leur perméabilité étant grande ici, ces sols souffrent malgré tout un peu de la sécheresse estivale.

Nous rencontrerons donc quelques vignobles des « Côtes-du-Rhône », sur sol rouge læssique reposant sur sable, à Roquemaure, à Saint-Gervais, à Saint-Martin-d'Ardèche. A Tresque, on trouve sur læss (marnes plaisanciennes peu profondes), de très belles plantations de pêchers.

Enfin, l'asperge donne de très bons résultats dans ces sols rouges læssiques, ainsi d'ailleurs que dans les dépôts læssiques initiaux. Les plus belles cultures sont situées dans la région de Roquemaure (au sud de la barre du Lampourdier), et dans la région de Garons, sur la Costière (Gard). C'est certainement cette récolte, quand la culture est rationnellement conduite (apports importants d'engrais, soins culturaux, et traitements antiparasitaires), qui, avec les vins à appellation contrôlée, sont, les plus rémunératrices.

Le jour où le Gard sera irrigué au moyen du nouvel aménagement du Rhône (le canal prévu passerait à une cote de près de 130 mètres) ces sols læssiques joueront le même rôle que les terrains d'alluvions modernes de la plaine du Comtat Venaissin.

2° SOLS BRUNS

a) Sols bruns dérivant des « Terres Rouges ».

Parmi les sols à tendance climatique, nous devons mentionner également la présence des sols bruns dont nous avons déjà parlé. Ils ont en effet, pour origine, les « Terres Rouges » sur calcaire compact qui, ainsi que nous l'avons vu, se transforment à partir de 800 mètres (plateau de Saint-Christol) en un sol brun à un horizon (zonalité verticale) type U. C'est le même sol que l'on retrouve sur les causses de Larzac.

b) Sols bruns calcaires sur calcaire marneux.

Ce sol qui présente un début d'évolution pédologique est assez rare dans le Bas-Rhône (sur les sommets ou les replats des collines mollassiques calcaires). Nous le trouvons surtout en Basse-Ardèche, sur le calcaire marneux du Valanginien. Il a pu se former (horizon A de couleur brune, peu épais, 12 à 15 centimètres) grâce à des conditions méso-climatiques (pluviosité un peu plus grande) et topographiques particulières. Nous sommes ici, dans une région de polyculture pauvre (Villeneuve-de-Berg).

c) Sol brun à deux horizons.

Ce sol climatique ne se trouve pas dans la région du Bas-Rhône, mais il existe, si surprenant que cela puisse paraître à premier abord, en zone méditerranéenne.

C'est pour cette raison que nous donnerons ici les observations que nous avons faites à ce sujet (dans les Maures, Var). Elles montrent d'une façon très nette, que, malgré la région considérée, les facteurs contribuant à la formation de ce sol (méso-climat à grande pluviosité, végétation forestière très ancienne, roches-mères métamorphiques) ont pu activer très nettement la pédogenèse.

La présence de ce sol sur la côte des Maures n'est pas plus anormale que celle des sols podzoliques signalés par AGAFONOFF dans la zone montagneuse côtière et pluvieuse du nord de la Tunisie.

D'autre part, en étendant notre prospection dans une région voisine de celle du Bas-Rhône (nous l'avons fait également pour la région de Bandol et pour la moyenne vallée du Rhône) nous pouvons faire aussi d'utiles observations, souvent comparatives et enrichir enfin notre documentation pédologique méditerranéenne.

Nos observations se cantonnent à la bordure méridionale des Maures, limitée au nord par la faille de la Môle, allant de la vallée du Gapeu (Hyères) à la baie de Saint-Tropez, où elle rejoint la faille de Collobrières ; la Méditerranée forme la limite méridionale de la région.

Les roches du substratum appartiennent, pour la plupart, aux séries métamorphiques de la partie méridionale du Massif cristallin

des Maures. Ce sont des roches silicatées qui donnent partout un faciès d'altération argilo-gréseux à nombreuses paillettes phylliteuses (mica, séricite) plus ou moins profondément altérées.

On a ainsi formation d'une *arène* appelée « *allois* » dans le pays ; elle constitue une véritable roche-mère qui engendrera le sol brun que nous décrirons tout à l'heure.

Toutes ces roches métamorphiques, très différentes par leur structure, ainsi que nous allons le voir, ont une composition chimique à peu près identique, d'où la formation d'une arène assez semblable partout.

Des salins d'Hyères à Saint-Tropez, on observe une série complète de terrains métamorphiques constituées par :

Les phyllades (La Londe, le Brégançon, Porquerolles) sous lesquelles s'enfouissent périclinalement les gneiss et les micachistes de la partie axiale des Maures.

Les micachistes supérieurs (col de Gratteloup, Montgastre, La Verrerie, Cap Bénat).

Les « gneiss de Bormes ».

Les micachistes à minéraux (cap Nègre, Cavalaire, et Cogolin).

Le gneiss à micachiste amphibolique (La Croix, Gassin).

Les « gneiss de Saint-Tropez » (Ramatuella, Saint-Tropez) avec intrusion granulitique et pegmatite du Cap Camarat, du Cap Lardier et de Cavalaire.

Ces terrains métamorphiques dessinent un vaste brachy-anticlinal, dont le développement vers le nord est interrompu par l'importante faille de décrochement de La Molle et où a été limitée cette prospection faite avec notre Collège GOUVERNEMENT (28).

Tous les profils de sols bruns à deux horizons, issus de ces arènes, et examinés par nous, ont été relevés, *sous couverture forestière*, à l'orée de la forêt des Maures, notamment, dans les domaines des Anglades, du Galoupet, de la source Sainte-Marguerite, du Jas, à la Londe-lès-Maures, au domaine de Minutie à Gassin et enfin à l'île de Porquerolles.

a) *La végétation :*

La forêt de chêne-vert étudiée par MOLONIER et BRAUN-BLANQUET (117) à Porquerolles, fait partie, d'après ces auteurs pour les Maures et les îles d'Hyères, de la sous-association du Quercetum ilicis gallo-provincialis : le Quercetum ilicis suberetosum qu'individualisent avec le chêne liège, *Genista linifolia* G, *candicans* *cytiscus triflorus* et *crepis leontodontoides*.

Toutefois, d'après MOLINIER, le chêne-liège, tout comme le pin d'Alep paraissent avoir été répandus par l'Homme dans un but utilitaire.

Notons également la rareté du chêne-kermès (*Quercus coccifera*), si constant dans les stades de dégradation de la forêt d'yeuse, en Provence calcaire.

Tous les profils examinés ont été relevés dans la bordure de la forêt déjà dégradée ; nous avons affaire non pas au maquis bas à *Myrtus communis* et à la *Lavandula stoechas*, mais le plus souvent au maquis élevé à *arbutus unedo* et *erica arborea*. Sous cette forme le maquis reste impénétrable étant donné la densité énorme des strates supérieurs. Le sol est donc bien protégé.

b) *Examen du profil d'un sol brun :*

L'examen du profil de ce sol brun en place se présente à peu près partout de la façon suivante (sous couverture forestière) :

Horizons	A ₀ De 3 à 4 cm. assez humifère, spongieux.
	A Sol brun de 25 à 30 cm. structure peu compacte.
	B Horizon illuvial ferrugineux, plus argileux et rubéfié, de 30 à 40 cm. (Voir l'analyse.)

Roche-mère	C Arènes (allois) des phyllades à la Londe-lès-Maures et Porquerolles, et des « gneiss de Saint-Tropez, près de Gassin.
------------	---

Au laboratoire, nous avons eu les résultats analytiques suivants :

	Horizons	
	A	B
	—	—
	%	%
Colloïdes argileux	8,5	19,5
Limon	18,0	17,0
Sable fin	53,0	47,6
Sable grossier	22,1	15,3
Calcaire total	0	0
Matières organiques	0,2	0,008
pH	7,4	6,2

Il s'agit donc d'un sol brun à deux horizons, N₂ de la classification de l'Association française pour l'Etude du Sol.

c) *Sols remaniés, profils tronqués.*

Dans la commune de La Londe, les Maures descendent vers la mer par une série de petites collines déboisées où l'on cultive surtout de la vigne. Cette topographie crée un paysage particulier que la toponymie a fort judicieusement dénommé « quartier des montagnes russes ».

L'érosion s'est faite rapidement sentir sur ces collines où notre sol brun n'existe plus. Les profils sont fortement tronqués ; sur les

parties plates formant le sommet des collines on ne trouve en place que l'horizon B rouge, sur les pentes, il a même disparu et c'est la roche-mère, l'arène grise, qui a été mise à nu formant dans ce cas un sol squelettique aride et perméable.

Dans le fond des petits ravins s'accumule le sol rouge de l'horizon B (transport colluvial) et dans les thalwegs plus importants (transport alluvial) on a un sol *remanié* provenant des éboulis formés par les éléments grossiers arrachés au relief des Maures, mélangés aux débris des horizons du sol brun forestier détruit.

Ainsi existe dans toute cette zone méridionale des Maures, sous couverture forestière, un sol brun à deux horizons, donc nettement climatique.

Il se libère déjà du substratum (sol ectodynamomorphe). En effet, la diversité des roches métamorphiques, de composition chimique, toutefois assez semblable, n'influera guère sur les faciès d'altération et la nature de la roche-mère, l'arène. La végétation dense du maquis haut et la forêt est un des facteurs non négligeable de la genèse de ce sol.

Enfin, le facteur climatique a joué aussi un rôle important, notamment la pluviosité très marquée de cette zone des Maures exposée aux vents pluvieux du sud-est. A l'école d'Agriculture d'Hyères, on note actuellement une chute de pluie de plus de 800 millimètres par an (moyenne). Il tombe plus de 1 mètre à l'intérieur du massif des Maures.

Nous ne croyons pas que ce profil de sol brun à deux horizons, avec un horizon rouge se rattache aux types de sols rouges méditerranéens (1^{er} type), comme le supposent BRAUN-BLANQUET et MOLINIER (117). La pédogenèse y est différente.

En effet, les sols rouges méditerranéens (1^{er} type) qu'il s'agisse des sols sur « Terres Rouges », sur calcaire dur, ou sur « Diluvium », des alluvions à cailloux roulés ont pour origine une *argile résiduelle de décalcification étrangère* au substratum initial (calcaire, alluvion) et sont des sols peu évolués.

Dans le cas des sols sur phyllades, sur micaschistes ou sur gneiss, la kaolinisation et la ferrugination s'opèrent *directement* sur les arènes, *en rapport étroit* avec le substratum métamorphique, comme dans le cas des sols rouges méditerranéens (2^e type) sur lœss, par exemple, mais avec une évolution plus marquée.

3° SOLS SQUELETTIQUES D'ÉROSION

La presque totalité des matériaux des bassins d'ennoyage de la basse vallée du Rhône, calcaires friables, grès, mollasses, sables, nous donneront des sols squelettiques d'érosion. En effet, la lente altération des grès, des mollasses, des sables et des marnes, le ravinement qui fait rapidement disparaître la majeure partie des sols qui ont pu ainsi se former, la végétation xérophile qui est enfin inapte à

les fixer et qui n'apporte pas d'humus, telles sont les raisons pour lesquelles on trouve beaucoup de sols squelettiques dans la région du Bas-Rhône. Ces sols sont donc essentiellement endodynamomorphes et si nous rappelons, au cours de leur description, leur origine géologique, c'est plutôt pour permettre de les répartir, que de les identifier, car un même étage géologique peut contenir à la fois des roches-mères calcaires, gréseuses ou des cailloutis, et passer d'un faciès à un autre.

Ces sols occupent, avec les « présols » des alluvions modernes, de grandes étendues dans toute la basse vallée du Rhône. S'ils ne présentent qu'un intérêt relatif au point de vue pédologique, étant à peine évolués, ils doivent tout de même retenir notre attention au point de vue agronomique, car ils comprennent la majeure partie des « terres cultivées ».

a) Sols sur grès.

En réalité, le sol squelettique se forme sur le sable libéré du grès, après sa désagrégation. Nous avons indiqué comment nous avons observé, sur un grès près d'Alès, ces processus d'altération (décalcification, kaolinisation et rubéfaction) qui n'affectent que la roche initiale (le grès), tout comme dans le cas du calcaire compact ou dans celui des terrasses fluviales. L'argile de décalcification, quand elle n'est pas enterrée dans le sable libéré, et *sous ce manteau* protecteur, ne peut évoluer et former un sol comme le font les « Terres Rouges » et le « Diluvium ». Nous avons observé nettement ce phénomène, au domaine de Beauséjour, près d'Orange dans la dégradation d'une petite colline de grès du Cénomanien. Ainsi, les mêmes phénomènes géogéniques envahissent les grès, mais avec moins d'intensité, car le ciment calcaire de ceux-ci offrent moins de prise à la décalcification que l'Urgonien, dans les phénomènes karstiques, et que les cailloutis calcaires des terrasses. Mais ici, l'argile résiduelle, recouverte de sable, ne peut jouer le rôle de roche-mère pour former comme par ailleurs, un sol. C'est ce sable siliceux, libéré du grès par le départ du liant calcaire, qui fournira alors un sol squelettique ; il sera, comme sa roche-mère, pédalferrique. Si, de plus, ces sables siliceux sont rubéfiés, les sols qui en émanent auront la couleur rouge ou jaune foncée de ceux-ci. Ils font partie des sols lithochromes de del VILLAR (151).

Nous les rencontrerons, dans la basse vallée du Rhône, surtout aux endroits suivants :

— à la Valbonne (Gard), sur le Cénomanien, à éléments siliceux rouges ;

— à Pouzillac (Gard) sur le Vraconien, à éléments siliceux rutilants ;

— à Bonnieux et à Mérindol (Vaucluse) sur les sables rouges de l'Eocène ;

— à Roussillon, Rustrel, Gargasse, Villes (Vaucluse), sur les grès et sables rouges et jaunes de l'Albien (Gault) ;

- à Vinon, dans la vallée de la Durance (Var) sur formation rouge sablo-gréseuse du Quaternaire ;
- au Barroux, sur grès rose du Trias, etc.

Dans les collines sableuses de la région d'Apt, la pluie entraîne souvent les parties les plus fines des limons jaunes (principes du traitement des ocres) et le sol ne se constitue, qu'aux dépens du sable fin et du sable grossier encore coloré.

Vocation culturale. — A la Chartreuse de la Valbonne, la forêt très anciennement installée, se maintient encore sur une partie de ces sols squelettiques. Le pin d'Alep et le pin pignon y prospèrent bien.

Si le niveau de la nappe phréatique n'est pas trop bas, comme dans le cas des sols sur grès de l'Albien inférieur du bassin d'Apt, on aura d'assez bonnes terres à blé. Au contraire, les sols lithochromes, dérivant des sables gréseux rouges et jaunes de l'Albien supérieur, ou du Vraconien, sont plus secs (asperges, cerisiers, vignes).

Dans les environs d'Orange les sols, sur le sable provenant de la décomposition du grès du Cénomanien, peuvent être arrosés ; ils porteront alors diverses cultures fruitières et maraîchères. Ailleurs, ces mêmes sols non irrigués, sur les deux rives du Rhône (au sud de la Valbonne et dans le Tricastin) ne seront favorables qu'à la culture de la vigne (quelques vignobles à appellation contrôlée « Côtes-du-Rhône »), à celle de l'olivier et de l'abricotier. L'abricotier, que nous retrouvons, sur d'autres sols squelettiques, est bien un arbre fruitier rhodanien.

b) Sols sur sable et mollasse sableuse.

Il s'agit, d'une part, des sables en place (du Gargasien de l'Albien, du Santonien, du Lutétien et de l'Astien), et, d'autre part, de la mollasse sableuse du Burdigalien et l'Helvétien.

Les sables n'ont subi, malgré leur origine lointaine, qu'une évolution pédologique peu marquée. Le lessivage est très peu accentué. Si toutefois on rencontre, comme dans le sable de l'Astien, à Roquemaure (Gard), de petits nodules calcaires ferrugineux, nous sommes bien loin d'atteindre le degré de podzolisation des sables des Landes, avec la formation des « alios ». Le sol, issu de ces sables, est gris, squelettique, et reflète entièrement les caractères de sa roche-mère.

Sur mollasse sableuse, les sols contiennent généralement peu d'éléments très fins. Cette roche-mère, est très répandue dans tous les bassins d'ennoyage de la région du Bas-Rhône. Les conditions topographiques ne permettent presque jamais la formation de sol un peu évolué ; les sols rouges décalcifiés, dont nous avons parlé plus haut, sont excessivement rares.

ANALYSES	Oppède (Vaucluse)	Châteauneuf- du-Pape (Vaucluse)
	— %	— %
Argile	7,5	8,0
Limon	18,5	27
Sable fin	63	47,3
Sable grossier	8,6	17,1
Calcaire	26	33
Matières organiques	2,4	0,6

L'ocasion culturale. — Les sols sableux sont généralement arides sous le climat méditerranéen. Toutefois, si la roche géologique, située sous la roche-mère, est quelque peu imperméable et pas trop profonde (cas des marnes de l'Âstien inférieur situé sous les sables), on pourra planter avec succès des vignes, des cerisiers, des abricotiers et des asperges.

Le même phénomène peut s'observer sur la mollasse sableuse qui devient argileuse en profondeur (Helvétien inférieur). Sols secs sur les pentes, ils deviennent plus fertiles sur les petits plateaux et dans les vallons. La vigne et l'asperge semblent particulièrement bien adaptées à ce type de sol. Nous reparlerons de la vigne plus loin.

La culture de l'asperge est assez répandue dans les basses vallées du Rhône et de la Durance. Les sols squelettiques sur sable et mollasses à Aubignan : Mondragon, Roquemaure, Roussillon (Vaucluse) et les sols gris, jeunes, des vallées (type sableux), conviennent bien à cette culture. Ce sont des sols profonds, meubles, sains et chauds, conditions favorables à la création d'aspergeraies. La méthode de forçage de l'asperge, dont nous avons parlé (voir page 63), ne se justifie que par les hauts prix réalisés dans la vente des produits ainsi obtenus avant terme.

Dans le bassin d'Apt-Forcalquier, dans celui d'Alès, dans le Nyonsais, et dans le pays d'Aigues, au pied du Lubéron, ces sols squelettiques d'érosion sur sables et sur marnes, constituent un milieu favorable, à la polyculture provençale. C'est la liaison antique du blé, de la vigne et de l'olivier, cultures à rendement médiocre, associées à l'élevage du mouton. Mais le viticulteur des pentes du Ventoux, des contreforts des Monts de Vaucluse et du Lubéron, a su revaloriser ses maigres tènements en soignant ses plants « durs », grenaches, clairettes, Carignan, qui produisent un vin de qualité (actuellement vins de qualité supérieure).

Dans les parties plus fertiles, la culture du raisin de table tardif (Servant, Gros-vert) est rémunératrice.

Enfin, dans certains endroits du pays d'Aigues et de la région de Manosque, la culture fruitière (pêchers, poiriers, pommiers) commence à prendre un certain essor.

Ainsi, tous ces pays qui ont conservé le patrimoine régional de

l'exploitant, suivant la nature de leur sol peu prodigue, tendent toutefois, par l'adaptation de nouvelles cultures plus rémunératrices à sortir un peu de leur médiocrité séculaire.

c) Sols d'érosion sur marnes.

Certains bassins d'ennoyage, celui d'Apt-Forcalquier notamment, renferment plus de sédiments marneux que d'autres. Ceux-ci s'altèrent lentement, et ils ont été soumis depuis leur émergence à un ravinement intense, surtout au Quaternaire, érosion qui continue encore de nos jours, favorisée, en maints endroits, par le relief actuel. C'est pourquoi, on constate la disparition du peu de sol formé, que la végétation, d'autre part, n'a pas pu fixer.

Nous aurons donc affaire à un type peu différencié de la rochemère, à un sol d'érosion squelettique.

Répartition. — Dans le bassin d'Alès, nous trouverons des sols dégradés sur marnes, du Chattien et du Rupélien. D'ailleurs dans ces mêmes étages et dans cette même région, nous aurons également des sols squelettiques sur sables provenant d'un grès mollassique et des sols rendziniformes sur calcaire friables.

Dans la dépression Nîmes-Roquefort, nous trouvons, comme marnes, uniquement celles du Plaisancien avec leur sol d'érosion typique, à Fournès, à Théziers, à Bellegarde, à Pujaut.

Dans le bassin Apt-Forcalquier, les sédiments marneux occupent des surfaces assez grandes : marnes noires Aptiennes, marnes verdâtres du Ludien, marnes rouges de Viens (Aquitaniens), marnes du Stampien, donnant toutes, des sols d'érosion lithochromes.

Dans le pays d'Aigues, au sud du Lubéron, nous trouvons des marnes de Cabrières (Tortonien) et celles de Viens. Enfin, dans le nord de la région du Bas-Rhône (Tricastin, Nyonsais) ; où les sédiments sableux et gréseux dominent, nous trouverons quelques sols squelettiques sur marnes du Pontique et du Tortonien (Visan), ainsi que sur quelques sédiments argileux du Plaisancien.

De même que l'on passe insensiblement d'une marne à un calcaire marneux et à un calcaire friable (en plaquettes, par exemple) de même nous passerons de ces sols d'érosion à d'autres sols squelettiques blanchâtres, ce seront les sols bruns calcaires ou rendzines.

Analyse d'un sol d'érosion sur marnes du Plaisancien à Fournès (Gard).

	Partie haute	Partie en pente
Argile	20,3	19,5
Limon	28,8	20,2
Sables	46,8	42,8
Calcaire total	37	32
Matières organiques	2,0	2,0

Vocation culturale. — Les agriculteurs classent ces sols squelettiques, dérivant des marnes, parmi les « Terres fortes ». Elles présentent certaines difficultés culturales, accrues par le climat méditerranéen. Les parties les plus basses, où l'eau pourra s'écouler, seront humides d'octobre à avril, et en été, ces sols, s'ils ne sont pas travaillés à temps, se sècheront, se fendilleront et se durciront. Ces zones correspondent à celles de la grande culture, céréales, luzerne, tandis que les pentes, plus sèches même au printemps, porteront des cultures arbustives, vignes, cerisiers et abricotiers, dans la vallée du Rhône. C'est la région de polyculture provençale dont nous avons déjà parlé, et qui incorpore petit à petit certaines plantations d'un meilleur rapport (arbres fruitiers, raisins de table).

Les cultures fourragères, dans ces pays méridionaux étant donné les conditions de milieu (sol et climat), ont toujours été un problème assez difficile à résoudre. La luzerne, le sainfoin, parfois le trèfle, réussissent assez souvent, mais les coupes se limitent à deux, alors qu'en plaine où dans certaines régions plus favorisées, on fait normalement trois coupes et un regain. Dans les zones les plus sèches, on a recours aux vesces et à la lentille ers, en culture dérobée.

d) Sol blanc siliceux (Silex).

Ce sol particulier a été observé, par nous, sur le plateau de Saint-Christol (Vaucluse et Basses-Alpes). Il est appelé : « Terre blanche » à cause de sa couleur blanchâtre qui tranche nettement avec des sols rouges méditerranéens qui voisinent. Ces sols blancs correspondent aux zones encore boisées du plateau. Si, dans celles-ci, le sol rouge ou brun (suivant altitude) se rencontre encore sur certains points du calcaire compact qui affleure presque à la surface (clairières), nous sommes sur ce plateau, dans la région des nombreuses poches et petites dolines où est venu s'accumuler le complexe « Terres rouges » (voir plus haut), mais il est ici souillé de nombreux résidus siliceux anguleux. La quantité de débris de silex qui occupe toute la masse est telle en surface qu'elle arrive à former un sol squelettique siliceux blanchâtre à éléments fins anguleux, et encore mélangé à des débris grossiers de silex. Il a de 10 à 15 centimètres d'épaisseur et possède un horizon humifère A₀ très restreint, malgré la couverture forestière.

Ce sol squelettique siliceux repose donc sur les « Terres Rouges » (substratum) ; les débris de silex dont l'accumulation, dans ces poches, atteint près de 2 mètres, dans les quelques profils examinés notamment entre Sault, Saint-Trinit (Vaucluse) et Revest-du-Bion (Basses-Alpes) jouent le rôle de roche-mère.

ANALYSE		%
Argile		24,6
Limon		29,8
Sable fin		27,6
Sable grossier		17,5
Matières organiques		0,5
Calcaire total		0

Vocation culturale. — Ces sols correspondent principalement à deux bandes de terrain boisées du plateau de Saint-Christol ; une première, au nord qui s'étend de Sault à Revest-du-Bion, par la Ferrassière et le nord de la commune de Saint-Trinit ; une deuxième qui est située à l'est, allant du Revest-du-Bion au hameau de Chavon.

Dans un pays aussi caractéristique que ces pénéplaines calcaires, ces « Terres blanches » reposant sur l'argile rouge siliceuse, véritable « bief à silex » du nord de la France, entrent dans le paysage comme un élément puissant de différenciation géographique. On est étonné de trouver à côté des pins et des chênes blancs, ces peupliers trembles et des châtaigniers qui forment de belles futaies, puis de rencontrer des friches humides à rumex, voire même, des petits étangs (Revest-du-Bion). C'est le même phénomène que l'on observe en Picardie où l'argile à silex différencie un pays frais comme le Vimeu, d'un pays aride comme le Santerre. Toutefois, on ne peut établir sur le plateau de Saint-Christol des prairies comme il en existe dans le nord de la France, sur les « bief à silex ». Ainsi, la seule vocation culturale de ces sols squelettiques siliceux est la forêt : chênes blancs, pins sylvestre et d'Autriche, peupliers, châtaigniers.

e) Sols sur sables éoliens (Dunes).

Ce sont des sols lithochromes exclusivement sableux ; ils sont jaunes pâles ou gris et on les rencontre dans les environs d'Aigues-Mortes et en Petite-Camargue (Gard). Sous couverture de chênes verts, de chênes pubescents associés aux pins pignons (pinède du Mas de l'Abbé) on observe nettement la formation d'un horizon A₀ humifère sur ces sables éoliens. Voici à titre d'exemple l'analyse d'un de ces sols près d'Aigues-Mortes :

	%
Argile	0,00
Limon	0,5
Sable fin	89,4
Sable grossier	9,3
Matières organiques	0,8
Calcaire total	18,0

Vocation culturale. — Une seule culture semble convenir à ce type de sol, c'est celle de la vigne. Il s'agit encore de plants directs, de plants français non greffés sur américains ou franco-américain, le phylloxéra étant très peu actif dans ces sables. C'est une des seules régions de France, avec la Camargue toute voisine (*) (submersion) où l'on a pu conserver les vieux plants de vitis vinifera. Signalons une autre particularité de cette région, la pratique de « l'enjonçage », entre les rangées de vignes, qui consiste à placer, sur des sols sableux,

(*) Au point de vue pédologique et géographique, le delta du Rhône comprend, entre les deux Rhône, la Camargue proprement dite, à l'est du Grand Rhône, le Plan de Bourg, et à l'ouest du Petit Rhône, la petite Camargue.

des jones (*scirpus*) coupés, et à les enterrer légèrement au rouleau ; on fixe ainsi les sables et on évite leur transport par le mistral particulièrement violent dans cette basse plaine du delta du Rhône. Le vin obtenu, dans ces sables arides et secs, est assez alcoolisé et de bonne qualité (clairette-Carignan).

f) Sol d'érosion sur formations à carapace.

Parmi les sols à carapace, ceux à croûte carbonatée sont les plus répandus dans la zone steppique méditerranéenne, surtout nord-africaine. On discute encore beaucoup sur l'origine et les relations de cette carapace avec les horizons inférieurs et même supérieurs.

D'après YANKOVITCH et FRANC de FERRIERE, la croûte est une formation illuviale due à l'accumulation en profondeur de calcaire provenant des horizons supérieurs disparus, et le sol qui la surmonte y est lié génétiquement. On aurait affaire à des paléo-sols tronqués par l'érosion.

Pour AGAFONOFF, au contraire, la croûte est de formation plus ancienne que le sol qui la recouvre. Celui-ci est dû à des apports éoliens et de ruissellement. La carapace a pour origine un mouvement ascendant de solutions de sels de chaux, à partir de la roche calcaire initiale. Il s'agirait, en l'occurrence, d'un phénomène géogénique datant de l'époque chélléenne, caractérisée par un climat chaud désertique.

Pour MARCELIN, dans la Costière, tout au moins, il y aurait lieu de faire intervenir le processus d'accumulation du calcaire dans les « taparas » de la terrasse rhodanienne, soit après entraînement du carbonate de chaux « per descensum », soit « per ascensum », ces phénomènes opposés s'étant évidemment produit à des époques géologiques différentes (variations de climat).

Pour del VILLAR, le rôle des nappes aquifères serait essentiel dans la genèse de la croûte qui se forme en profondeur ce qui est exact dans certains cas.

ROSEAU, estime qu'une partie des formations tuffacées et des croûtes ne résulterait pas d'une évolution pédologique, mais bien d'une simple sédimentation de caractère géologique.

GEZE (74), au cours du Congrès de Pédologie Méditerranéenne de 1947, a cherché à dégager les grandes lignes de ces interprétations, puisqu'on a rangé sous ces termes de croûtes ou carapaces bien des choses d'origine différente. C'est également notre avis. Certaines de ces croûtes n'ont aucun caractère pédologique. Il s'agit de géogenèse plutôt que de pédogenèse.

Les sols que nous avons observé, sur la bordure sud-orientale de la garrigue nîmoise, au sud de Lédénon (Gard) présentent certains caractères morphologiques. Il s'agit de l'observation d'une croûte calcaire lèssique superficielle, et d'un conglomérat bien cimenté d'alluvions anciennes formant une véritable dalle à la surface du sol. La position topographique de ces deux sols, en pente le long

de la bordure du plateau calcaire des environs de Nîmes, nous incite à croire qu'il s'agit de profils tronqués.

L'érosion a dû jouer un rôle indéniable ramenant à la surface des horizons pédologiques ou géologiques, qui normalement devraient se trouver à une certaine profondeur (*). En effet, en ce qui concerne le lèss, une croûte calcaire est située souvent à environ 2 mètres de profondeur, comme nous l'avons observé à Saint-Désirat (Ardèche), et le poudingue des terrasses est toujours placé entre 30 et 80 centimètres. Mais ce qu'il y a de certain c'est qu'il n'y a aucune relation, entre cette carapace et le peu de sol qui la surmonte actuellement ; il s'agit, d'un sol d'apports éoliens et de ruissellement. De sorte qu'en fin de compte, on aura affaire à un sol colluvial, le substratum ayant subi divers phénomènes de décomposition et de métamorphisme externe, plus géologiques que pédologiques.

Ce sont à ces mêmes processus qu'il faut rattacher la formation des bancs de grès superficiels que l'on trouve dans les sables de l'Astien (Tavel, Roquemaure et Saint-Laurent-des-Arbres) (Gard) et qui, au niveau de ces sols squelettiques, forment souvent un obstacle aux labours profonds.

Dans tous ces cas, l'emploi de l'explosif agricole est à conseiller, pour la plantation des arbres fruitiers (cerisiers, abricotiers) et même de la vigne, cultures les mieux adaptées à ces types de sol dans la basse vallée du Rhône.

4^o RENDZINES

Les rendzines sont des sols calcaires généralement très peu évolués dans nos régions méridionales. C'est pourquoi nous les classons dans les sols azonaux avec l'indice R, de l'Association Française pour l'Etude du Sol.

Nous avons vu que les calcaires compacts, notamment ceux de l'Urgonien, les calcaires marneux et les marnes sont les matériaux avec lesquels est édifié une grande partie de la région du Bas-Rhône.

Nous avons d'autre part, longuement insisté sur les relations qui unissent les « Terres Rouges » et les sols rouges méditerranéens (1^{er} type) avec les calcaires durs. Toutefois, nous trouvons dans cette zone de calcaire *compact, mais alors uniquement sur les pentes, où les éboulis sont nombreux* ; un autre sol, du type « rendzine ». Celui-ci se retrouve également sur les calcaires marneux, *tendres*, où le sol rouge ne peut se former, les phénomènes du calcaire dont nous avons parlé, étant inexistant, du fait de l'instabilité des surfaces et des formes (faible résistance à l'érosion), observation déjà signalée par GKINKA et notée par J. RUSSELL (137). Nous avons vu que nous mettons à part les sols bruns calcaires qui, sous certaines conditions

(*) Dans le cas du lèss, il s'agirait d'une évolution pédologique, puisque nous considérons cette formation, comme une roche-mère. Dans celui du conglomérat (taparas), on aurait affaire à un phénomène géogénique puisque nous considérons le Diluvium rouge qui le surmonte comme roche-mère.

topographiques et mésoclimatiques ont pu se former aux dépens de cette même roche-mère (calcaire marneux).

Les rendzines se présentent à peu près partout de la façon suivante, notamment sur les éboulis de calcaires compacts, un horizon A₀, de 4 à 5 centimètres, gris noirâtre, humifère, puis un horizon A, de 10 à 25 centimètres, riche en matières organiques, qui constitue le sol et qui est mélangé jusqu'à sa surface des débris de la roche calcaire ayant résisté à la décomposition ; il est de couleur grisâtre, mais plus sombre que l'horizon C qui est l'éboulis proprement dit.

Ces formations correspondent donc bien à la définition classique des rendzines : sols humifères pouvant être plus ou moins décalcifiés, et contenant toujours dans leur masse des fragments rocheux calcaires (ERHART) (64).

Toutefois, sous le climat méditerranéen, ces rendzines sont généralement peu évoluées (*Rendzines grises*).

Les rendzines noires, plus riches en matières organiques sont rares : nous les avons surtout rencontrées dans le Diois et les pentes du Vercors. Dans d'autres régions de calcaire tendre, et sous un autre climat, notamment en Champagne et en Bourgogne, ce type de sol, a également une évolution pédologique nettement plus marquée, ainsi qu'il en résulte des observations de RADET et MANTELET. (128-129).

Dans le Midi, ces sols sont presque toujours jeunes. En effet, on peut observer une *rendzine datée* (*) sur l'ancienne minoterie romaine de Barbegal, près d'Arles (Bouches-du-Rhône). La roche-mère est un éboulis de coteaux fait de fragments de calcaire Urgonien. Le sol est gris foncé, tirant sur le noir avec dégradation progressive de la couleur en descendant. Ce profil est recouvert d'une brousse serrée de chênes kermès (*Quercus coccifera*), qui a pris la place de la forêt d'yeuse (*Quercus ilex*), détruits sans doute lors de la construction de l'usine.

Ainsi, dans toute cette zone de l'infracrétacé du Bas-Rhône, suivant la nature et le faciès de la roche calcaire, on rencontrera deux types de sol : *sols rouges et rendziniformes*. La présence côte à côte de ces deux formations pédologiques ayant des caractères physico-chimiques différents n'a rien de surprenant, étant donné tout ce que nous venons de dire sur leur genèse et notamment sur l'origine des « Terres Rouges ».

Cette association, sur substratum calcaire, de ces deux types de sol, est sans doute la raison pour laquelle ROBINSON (130) classe dans le même groupe, rendzines et Terra Rossa, ainsi que les sols en dérivant (limestone soils, gris et rouges bruns).

Répartition. — La complexité des formes structurales et du modelé des sédiments du Crétacé, dans la région du Bas-Rhône, ne nous permet pas de localiser la position des sols rendziniformes.

(*) Signalée par M. F. BENOIT, Conservateur du Musée d'Arles.

Ainsi la topographie d'une part, en ce qui concerne les éboulis des pentes et, d'autre part l'apparition des couches bathyales de calcaire marneux, nous permet de prévoir sur une carte des roches-mères où les courbes de niveau figureront, l'emplacement des rendzines. Par la même occasion, on différenciera les sols rouges sur « Terres Rouges » qui, ainsi que nous l'avons dit, sont liés à la présence des phénomènes karstiques dans les calcaires compacts.

Analyses de rendzines sur éboulis

	Rustrél (Vaucluse)	Javon (Vaucluse)	Barbégail (B.-du-R.)
	— %	— %	— %
Argile	24,9	16,7	19,0
Limon	28,0	21,0	12,0
Sable fin	21,5	37,4	27,0
Sable grossier	22,7	19,5	33,0
Matières organiques	3,9	4,7	8,5
Calcaire total	48,8	50,0	41,0

Vocation culturale. — Dans les montagnes et collines calcaires de l'isthme Durancien, sur tous les éboulis des pentes, sur les bas-côtés des ravins et des combes, lès bois de chênes verts ou de chênes blancs (à partir de 700 à 800 mètres d'altitude), sont les seules ressources agricoles de ces régions déshéritées. Les arbres jouent leur rôle au point de vue de la conservation des sols, et l'exploitation abusive des taillis aggrave encore, particulièrement sur ces pentes, les phénomènes de l'érosion si dangereuse dans tout le Midi où la forêt se régénère si difficilement. C'est également dans ces régions montagneuses que l'on trouve la culture de la lavande dont nous avons déjà parlé ; cette labiée est même mieux encore à sa place sur les sols rendziniformes perméables, que sur les sols rouges qui présentent un sous-sol plus compact (« Terres Rouges »), quand il n'est pas en pente.

Sur les éboulis situés en basse altitude, au pied des collines, non loin des plaines cultivables, les rendzines, sols secs et perméables portent quelques cultures : olivier, vigne, amandier, chêne truffier. Le vignoble sur les éboulis n'est pas des plus importants. Néanmoins, on trouve des parcelles de vigne, donnant un vin fruité alcoolisé au pied de la Lance (Drôme), à Rousset, le Pègue, Nyons, et sur le versant occidental des collines calcaires de Sablet, Séguret, Gigondas, au bas du Ventoux, à Beaumont-d'Orange, dans les Monts de Vaucluse, à Ville-sur-Auzon, Bédoin, Saint-Saturnin-d'Apt, Rustrel, sur les éboulis du Lubéron, à Robion, Bonnieux, Apt, Lourmarin, etc.

Dans le Gard, au bas du Lampourdiér, à Roquemaure, et tout le long de la cassure rhodanienne de la garrigue, les éboulis portent également quelques vignobles donnant d'ailleurs un vin de qualité (Côtes-du-Rhône).

L'olivier et l'amandier sont souvent côte à côte, dans ces tènements secs provençaux. L'amandier toutefois remonte seul plus haut, le long des pentes. On le retrouve dans le pays de Sault, alors que l'olivier s'arrête à Ville-sur-Auzon et à Rustrel.

Deux centres d'oléiculture existent encore dans le Bas-Rhône, à Nyons et à Salon (Coopératives oléicoles). Dans le Nyonsais, la plupart des olivettes se trouvent sur les rendzines des éboulis de la Lance, ou de calcaire marneux (Mirabel-en-Baronnies). On cultive, et cette récolte est très rémunératrice, l'olive de conserve ; Nyons est fière de la qualité de ses olives de marque fournies par la variété appelée la « Tanche ». Les olivettes de Salon couvrent tous les éboulis du flanc des Alpilles autour d'Eyguières, de Lamanon, de Mouriès, des Baux, de Maussane, du Paradou, etc.

Ainsi les conditions pédologiques et mésoclimatiques de ces deux régions ont permis à l'olivier de donner des produits renommés. La notion de « cru » apparaît ici, nettement, comme pour le vignoble.

La décadence de l'amandier a été plus rapide et aussi plus complète. Quelques plantations d'amandiers se rencontrent sur les rendzines des éboulis des Alpilles à l'entrée de la Crau, près d'Eyguières. Elles sont pour la plupart abandonnées.

Parfois aussi, l'amandier est associé à la vigne et donne une amande dure utilisée en confiserie (régions d'Apt et de Carpentras).

La revalorisation de cet arbre est à envisager mais alors l'amandier quittera le cycle traditionnel de sa culture, sur les pentes rocailleuses des collines calcaires (rendzines de la Provence), pour entrer dans l'association des vergers des grandes régions fruitières (sur sols gris, jeunes, des vallées, non irrigués).

5° SOLS JUVÉNILES (PRESOLS) (*)

a) Sols gris des Terrasses.

Ainsi que nous l'avons signalé à propos de la répartition des sols rouges des terrasses, les *sols gris*, que l'on rencontre également sur ces mêmes formations, n'existent que sur des dépôts récents ou fortement calcaires (Durance). En effet, dans ces conditions le phénomène de la décalcification n'a fait que s'amorcer ; la kaolinisation et la rubéfaction n'ont pas eu lieu et finalement on a affaire à des sols très peu évolués, à peine différenciés de la roche-mère sous-jacente, qui est ici constituée par la masse de cailloutis avec sables, le plus souvent encore intacte. Toutefois, le léger lessivage du calcaire, a déjà permis, en certains endroits, la formation d'un poudingue, à peu de profondeur.

Au point de vue *Vocation culturale*, il y aura lieu de se reporter à ce que nous avons écrit au sujet des sols rouges sur terrasses. Toutefois, les sols gris recouvrent en général les terrasses les plus basses ; ce seront celles qui sont le plus facilement arrosable. L'action du colmatage, formant un véritable sol artificiel, est donc à retenir. (Voir § Sols divers, page 154).

(*) « Terres », suivant Marcelin.

Analyse mécanique p. 100 de Sols gris des Terrasses.

	0 à 30 cm.	50 à 60 cm.
Argile	7,5	10,5
Limon	19,8	16,3
Sable fin	35,6	31,2
Sable grossier	37,6	29,9
Matières organiques	2,7	1,8
Calcaire fin	8,2	9,0
Calcaire grossier	4,8	7,0
Calcaire total	13,0	16,0

b) Sols gris, jeunes (*), des vallées.

Les fleuves et les rivières n'ont pas transformé les plaines du Comtat en un désert de pierres comme la Crau, car, depuis le Quaternaire récent, elles ont pu colmater et déposer des limons, la Durance ayant cessé, à cette époque, de passer par Lamanon, abandonna la Crau et a, alors, recouvert d'alluvions modernes toute la plaine de Saint-Rémy. C'est à ces limons calcaires de la Durance et du Rhône, qu'est due la prospérité agricole de toute cette région. Ces dépôts fluviaux quaternaires ont peu évolué et ont donné des sols juvéniles, à peine formés. Les irrigations ont amorcé toutefois, un léger lessivage dont nous parlerons.

L'analyse mécanique d'un certain nombre d'échantillons de ces sols gris, jeunes, des vallées, essentiellement endodynamomorphes nous permet de discerner 4 types : type « Terre franche », limono-sablo-argileux, limono-argilo-sableux, limono-argileux. Tous sont des sols très calcaires (proportion de carbonate de chaux supérieure à 30 %). Cette différence de composition physique, tient d'une part, aux divers apports des rivières (du quaternaire), et ensuite (aux abords des formations géologiques qui dominent la plaine), à l'arrivée des eaux de ruissellement chargées, suivant le cas, ou exclusivement de sable (Astien) ou bien d'argile (Helvétien, Plaisancien). (Voir les analyses N° 2 et 3). Nous avons signalé déjà l'importance de ces apports colluviaux. (Voir chapitre II. Etude de Relief, page 65.)

L'examen des profils de ces sols dans la plaine d'Avignon (confluent du Rhône et de la Durance) nous donne la coupe suivante (en zone irriguée) :

De 0 à 35 centimètres, le sol gris, jeune, des vallées.

De 35 centimètres à 1 mètre, la roche-mère, c'est-à-dire les alluvions où la faible coloration grise disparaît pour faire place à une teinte de plus en plus jaunâtre, et qui correspond à une augmentation de la compacité.

(*) Le qualificatif de « jeune » s'applique à la pédogenèse et non à l'âge géologique de la roche-mère nous pouvons, en effet, avoir des sols très évolués sur roche-mère datant du Quaternaire récent (cas des Podzols à Alios des sables landais).

De 1 mètre à 3 m. 50, le sous-sol redevient sableux, puis graveleux, pour arriver au-delà de 3 m. 50 au cailloutis des anciennes alluvions.

L'analyse chimique a pu nous montrer des différences assez faibles, mais qui permettent tout de même de mettre en évidence un début de faible podzolisation. En effet, si on considère une base qui n'est pas apportée par les engrais, la magnésie, on constate une richesse croissante avec la profondeur. Voici, d'après BASTISSE, les résultats obtenus sur le sol gris, jeune, des vallées, du champ d'expériences de la Station de Recherches Agronomiques d'Avignon, situé à 3 kilomètres d'Avignon, dans la plaine alluviale.

Magnésie échangeable (en mgr. de MgO) pour 100 gr. de terre sèche à 100°.

0 — 30 cm.....	37,2 = 65 %
30 — 60 cm.....	25,2 = 46 %
60 — 90 cm.....	45,0 = 80 %
90 — 120 cm.....	56,1 = 100 %

Le léger lessivage du sol par les pluies (75 centimètres par an) et surtout par les irrigations superficielles (1,50 à 2 mètres par an, en plus), a donc une influence assez marquée sur la richesse de différentes couches examinées, en magnésie échangeable.

G. MATHIEU (107) a noté que cette action ne se fait pas sentir sur la chaux et la potasse échangeables, soit qu'elles n'interviennent pas, soit qu'elles soient compensées par les apports de chaux et de potasse des engrais, ou par la transformation des réserves du sol.

Ainsi, aucune décalcification ne paraît dans ces sols, prouvant ainsi leur forme juvénile.

La présence de carbonate de chaux est assez considérable dans ces alluvions. En général, celles du Rhône et en amont d'Avignon, sont un peu moins riches (de 20 à 35 %) que celles de la Durance qui dépassent souvent une teneur de 40 %, tandis que les limons des anciens paluds de la plaine du Comtat sont encore plus calcaires ; dans certains tènements, on trouve une teneur dépassant 80 % de carbonate de calcium.

Mais il est évident que dans ces considérations, on doit tenir compte, dans une large mesure, des influences locales, et c'est seulement dans les études pédologiques à l'échelle de la propriété, que l'on pourra les noter utilement.

Nous donnons ci-après, quelques analyses de ces sols jeunes :

	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>
Argile	11,8	8,5	29,6	27,7	26,9	18,8
Limon	18,6	14,0	49,8	47,5	24,9	32,8
Sable fin	49,6	39,4	18,1	19,2	39,8	34,3
Sable grossier	19,7	37,6	0,6	1,7	4,2	5,1
Matières organiques ...	3,0	1,8	1,9	3,9	4,2	3,0
Calcaire total	40,5	6,6	34,0	39,0	41,5	11,1

Echantillon n° 1. Route de Marseille-Avignon (Champ d'expérience de la Station) (Vaucluse).

- » n° 2. Quartier Traslepuy, à Roquemaure (Gard).
- » n° 3. Quartier La Tuilerie, aux Angles (Gard).
- » n° 4. Quartier des Petits Canaux, à Bellegarde (Gard).
- » n° 5. La Cigalière, au Thor (Vaucluse).
- » n° 6. Quartier des Paluns, à Mollèges (Bouches-du-Rh.).

	7	8	9	10	11	12 (*)
Argile	16,6	20,3	18,5	17,3	8,0	3,0
Limon	38,0	39,3	31,5	40,0	27,5	30,0
Sable fin	36,6	33,0	44,7	35,6	59,2	35,8
Sable grossier	4,6	4,2	3,3	4,9	3,2	27,4
Matières organiques.....	2,5	3,2	2,0	2,3	2,1	3,8
Calcaire total	40,0	38,8	43,0	57,0	45,0	86,0

Echantillon n° 7. Route de Cheval-Blanc, à Cavaillon (Vaucluse).

- » n° 8. Région de Maillane (Bouches-du-Rhône).
- » n° 9. Plaine de Cheval-Blanc (Vaucluse).
- » n° 10. Quartier du Moulin-Rouge, à Gadagne (Vaucluse).
- » Route de Tarascon, à Avignon (Vaucluse).
- » n° 12. Quartier de Thouzou, le Thor (Vaucluse).

Profil hydrique. — En culture irriguée, la légère podzolisation forme, entre 30 centimètres et 1 mètre, une couche un peu plus argileuse (dans les types limono-argileux, limono-argilo-sableux et limono-sablo-argileux), qui gêne considérablement l'ascension capillaire de l'eau de la nappe phréatique généralement peu profonde (1 mètre). Aussi ces terres se dessèchent-elles en été et on doit avoir recours à l'irrigation.

Certains types plus sableux, « Terres franches », au contraire, permettent l'arrosage *per ascensum* et maintiennent une humidité suffisante pour cultiver, même en été, certains légumes (plaines du Comtat sillonnées par la Sorgue et ses multiples branches).

La nappe phréatique correspond presque toujours dans la région du Bas-Rhône à des sous-écoulements du Rhône et de la Durance et de leurs affluents. Leur existence est due aux difficultés rencontrées par le drainage, dans une région encore encombrée par le cailloutis. L'appel du niveau de base se fait sentir souterrainement le long du poudingue qui plonge vers le Rhône ou vers la mer. D'anciens chenaux guident les eaux sous les alluvions actuelles. C'est ainsi que l'on explique la Durance souterraine de la Crau et, en ce qui concerne les alluvions modernes, les deux sous-écoulements

(*) Dans son *Recueil des Mémoires sur l'Agriculture* (Livre II, p. 200), de GASPARIN, en étudiant quelques sols calcaires du Midi de la France avait déjà signalé la haute teneur (92,5 %) en carbonate de chaux des sols de la région du Thor (Vaucluse).

de la Durance, dans sa basse vallée actuelle ; l'un d'eux atteint le Rhône en aval de la Ville d'Avignon, l'autre en amont, de l'autre côté du rocher crétaé des Doms, vers le Pontet.

Le Rhône lui-même, dans sa plaine actuelle, perd une partie de ses eaux, au profit d'un sous-écoulement dont la pente est plus forte. Ces eaux souterraines peu profondes, sont utilisées pour l'arrosage, au moyen de moto-pompes. Mais en général, elles ne servent qu'en période de pénurie des eaux des canaux d'irrigation, car elles sont claires et froides. Il faut les réchauffer en les faisant séjourner dans des bassins.

Ainsi que nous l'avons dit, les eaux limoneuses d'irrigation de la Durance, qui sont déversées, aussi bien sur des basses terrasses, que sur les alluvions modernes de la plaine viennent modifier cette roche-mère meuble initiale, d'abord en provoquant un léger lessivage, ensuite en apportant des matériaux fins (limon surtout). Mais l'irrigation ne touche pas tous ces sols gris, jeunes, des vallées. Il existe de ces terres qui, sur des grandes étendues, ne sont pas arrosées. Elles portent alors des cultures arbustives, des céréales et des luzernes qui y réussissent parfaitement (Pierrelatte, Orange, Pertuis, Manosque, Arles, Haute-Camargue, Remoulins, etc.).

Vocation culturale. — La possibilité de maintenir dans ces types de sols jeunes, à diverses profondeurs, une humidité convenable, durant l'été méditerranéen, soit par l'irrigation superficielle à l'aide de l'eau des canaux d'arrosage, soit par l'irrigation souterraine *naturelle* (région au voisinage des rivières), permettra l'adaptation de certaines cultures maraîchères et de prairies artificielles ou bien celles d'arbres fruitiers, de la vigne et celle des céréales associées à la luzerne. Nous sommes ici dans la région agricole, par excellence du Bas-Rhône.

* * *

6° SOLS SOUS L'INFLUENCE

DE FACTEURS PARTICULIERS LOCAUX (INTRAZONAUX)

Sols salins (Solontchak). — Ce qui différencie les sols salins, ce n'est plus tant la nature de la roche-mère, que la présence, dans leur profil, de quantités assez importantes de sels divers, notamment des sels de soude, d'où la classification de ces sols dans le cycle sodique (del VILLAR) (152).

Une certaine incertitude règne encore dans la nomenclature de ces sols.

D'après AGAFONOFF (1) « les sols salés (Solontchak en Russie, Chott en Tunisie) se trouvent dans les différents pays du globe, mais on les rencontre surtout dans la zone désertique et demi-désertique. Dans ces régions, les eaux riches en sels solubles remontent aux horizons supérieurs du sol, et y déposent ces sels sous forme de cristaux qui forment à la surface du sol une croûte saline. De même,

dans les dépressions du relief, les eaux souterraines, riches en sels, sortent à la surface et donnent aussi naissance à une croûte saline. »

Cette conception large, correspond assez bien à la réalité, et la distinction que fait ensuite AGAFONOFF, suivant la nature des sels prédominants, en sols à carbonates, à sulfates, à haloïdes et mixtes, est à retenir.

ERHART (63) exclut *a priori*, et sans donner d'explication à cet ostracisme, tous les sols formés par des dépôts marins récents ou anciens et tous les sols qui se forment directement aux dépens d'une roche saline.

HILGARD (86) parle d' « alcali soils » ; les sols blancs à « alcalis » sont ceux qui sont riches en chlorure et sulfate, les sols noirs à « alcalis » contiennent du carbonate de soude. Cette différence de couleur n'est d'ailleurs pas un critérium, mais la présence dominante du carbonate de sodium est très importante, étant donné l'influence de l'ion sodium sur les propriétés et la structure du sol (dispersion de l'argile), qui devient bien vite imperméable, ce qui est une des causes de la stérilité de ce type de sol.

La nomenclature russe a adopté les deux termes suivants, basés sur la structure :

— *Solonetz*, qui est réservé aux sols salins structuraux ;

— *Solontchak*, qui est celui des sols salins sans structure. Le premier sol présente le plus souvent deux horizons, le premier (A) grenu, assez lessivé, le deuxième (B) prismatique riche en sel. Ainsi, il est placé dans des conditions climatiques qui excluent l'ascension capillaire des eaux souterraines chargées en sel (rôle que peut jouer également la submersion, avec des eaux douces et les soins culturaux répétés).

AUBERT (4) dans la répartition des sols de la France d'Outre-mer, classe les sols salés dans la série sodique, située elle-même dans la zone méditerranéenne steppique ; il réserve le terme « à alcalis » pour les sols qui sont riches en carbonate de soude (ceux-ci sont d'ailleurs très rares en Afrique du Nord), et celui de sols salés, pour ceux qui n'en contiennent pas. Ces derniers se seraient formés sous des influences diverses : roche-mère naturellement riche en sels, nappe souterraine salée, action d'irrigation faite avec des eaux salées. C'est le cas des sols salins d'Algérie où les eaux salées des plaines de Relizane et de Perrigaux proviennent du Trias gypso-salin ou des marnes sahéliennes (Miocène).

En ce qui concerne la région du Bas-Rhône, nous avons adopté la classification qui, tenant compte dans une certaine mesure des conceptions ci-dessus, peut s'étendre à tout le Midi méditerranéen français.

— A) Sols salins maritimes (Camargue) où la nappe phréatique salée est d'origine marine.

— B) Sols salins continentaux (anciens clars du Comtat Venaissin et de Provence) où la nappe phréatique s'est enrichie en sels au

contact de différentes roches géologiques, ou par les eaux superficielles. (Le Plaisancien et la molasse renferment en Provence un certain degré de salure en maints endroits).

Dans les deux cas, à faible profondeur, existe un horizon imperméable qui sert de base à la nappe d'eau souterraine, où a lieu le collectage des sels. La remontée de ceux-ci, à la surface du sol, a lieu durant l'été, sous le climat méditerranéen.

Parmi ces sols salins, nous distinguerons :

a) Les sols à carbonates (très rares dans la région du Bas-Rhône).

b) Les sols à sulfates (quelques sols gypseux à Mormoiron et à Gargas (Vaucluse).

c) Les sols à chlorures (sansouïres de Camargue et tâches salées des Paluds de Noves (Bouches-du-Rhône) et d'Althen (Vaucluse).

d) Les sols mixtes (dans les sansouïres, on trouve toujours des traces de sulfate. Leur proportion n'augmente qu'exceptionnellement).

Les sols salins ont le plus souvent une teneur en sels solubles qui est nuisible à la végétation.

D'après AUBERT (4), dans l'ordre de toxicité décroissante les cations se rangent suivant la série $Mg - Na - Ca$ et les anions CO_2 , CO_3 , SO_4 ; on ne tient pas compte, dans ce classement, de l'action parfois importante de ces sels (cas du sodium) sur les propriétés physiques du sol, action qui, indirectement, est néfaste pour la végétation.

a) Sols salins maritimes (Camargue).

C'est dans les « enganes » (pâturages salés), au milieu des touffes de salicornes, qu'apparaissent les larges taches blanches et brillantes des « salants » ou sansouïres. Cette remontée du sel, si caractéristique en Camargue, s'effectue dans un sol qui nous est connu. Il s'agit du limon fluvial rhodanien, sol jeune, gris des vallées. Mais le caractère dominant est ici ce facteur local : la présence de sels solubles, en quantité anormale.

Le Rhône, avant d'être endigué, déposait à chaque crue dans la Camargue, des limons dont la nature agrologique (argileuse, limoneuse ou sableuse) variait suivant les apports dominant de ses affluents (Gard, Ardèche, Durance, Drôme, Isère). De sorte qu'un profil de ce sol jeune alluvial présente une succession de couches qui n'ont, au point de vue pédologique, aucun rapport génétique. Ce phénomène explique la diversité des sols de culture de la Camargue. On trouvera, par conséquent des « salants » sur sols plus ou moins argileux comme sur sols sableux (en tout état de cause, les éléments fins dominant). Voici quelques exemples d'analyses de sols salins maritimes :

N° 1. — Sol *nu* dans l'association à *Arthrocnemum glaucum* et *Sphenopus divaricatus*. — La Porcellette, lieu dit le Petit-Passon (route d'Arles à Saint-Louis-du-Rhône).

Caractères généraux du profil.

En surface. — Sur quelques millimètres : efflorescence de sels.

A : Sol gris alluvionnaire salin ; l'augmentation progressive de l'argile au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la surface (fait que l'on ne remarque pas partout en Camargue), est due, moins à un lessivage (peu visible sur le calcaire), qu'à des dépôts successifs d'inondation du Rhône.

On observe dans ce sol, comme souvent en Camargue la migration du fer dans la partie supérieure.

Analyses physiques (p. 100)

Profondeur.....	0-2 cm.	10-20 cm.	20-30 cm.	30-40 cm.
Argile	17,6	24,5	29,5	31,3
Limon	46,6	50,0	60,2	52,0
Sable total	33,9	22,6	13,3	16,3
Sable grossier	32,9	2,9	4,5	2
Sable fin	1,0	19,7	8,8	14,3
Calcaire total	30,5	34,0	31,5	32,0
Calcaire grossier.....	2,0	31,8	28,0	30,8
Calcaire fin	28,5	2,2	3,5	1,2
Matières organiques	2,6	2,6	1,8	0,3

Analyses chimiques (p. 1.000)

Profondeur.....	0-10 cm.	10-20 cm.	20-30 cm.	30-40 cm.
Azote	1,3	1,3	0,9	0,16
Chlorures.....	39,7	23,4	16,3	16,3

N° 2. — Sol de l'association à *Salicornia fruticosa*, groupement moins halophile que le précédent.

Caractères généraux du profil.

A₀ : 1 centimètre ; légèrement humifère.

A : Sol gris alluvionnaire salin, avec remontée de chlorures.

Analyses physiques (p. 100)

Profondeur.....	0-2 cm.	10-15 cm.	à 40 cm.
Argile	19,5	30,5	32,0
Limon	36,0	58,0	60,5
Sable total	44,5	12,4	10,4
Sable grossier	32,2	2,4	1,6
Sable fin	12,3	10,0	8,8
Calcaire total	27,3	30,6	31,1
Calcaire grossier.....	15,4	2,0	1,4
Calcaire fin	11,9	28,6	29,7
Matières organiques	10,4	2,8	1,8

Analyses chimiques (p. 1.000)

Profondeur.....	0-2 cm.	10-15 cm.	à 40 cm.
Azote	5,2	1,4	0,9
Chlorures.....	2,4	1,1	1,7

Sols de Camargue ayant déjà subi la submersion (dessalage).

	1	2	3	4	5	6
Argile	19	8,5	8,5	6,5	8	26
Limon	56,5	24	17,5	19,5	18,5	51,2
Sable fin	17,6	51,5	65,9	66,9	60,2	19,2
Sable grossier	4,6	4,5	6,1	6,6	12,1	3,3
Matières organiques....	2,4	2,7	2,1	0,7	2,3	1,0
Calcaire total	22,3	30	34	24,6	31	29
Chlorures.....	0,64	0,48	0,54	0,38	—	—

Echantillon n° 1. Sol de Camargue, près de Fourques (Gard).

- » n° 2. Sol de Camargue, Domaine de Rebatun-Mas-Thibert (0-20 cm.).
- » n° 3. Sol de Camargue, Domaine de Rebatun-Mas-Thibert (20-40 cm.).
- » n° 4. Sol de Camargue, Domaine de Rebatun-Mas-Thibert (40-1 mètre).
- » n° 5. Sol de Camargue. Mas de la Forêt. Mas-Thibert couche 0-20 cm.
- » n° 6. Sol de Camargue. Mas de la Forêt. Mas-Thibert couche 20-40 cm.

Vocation culturale. — La Camargue est une des régions de France où les contrastes sont les plus marqués au point de vue agricole. On y voit, en effet se développer une agriculture industrialisée (grands vignobles et riziculture), à côté d'une vie pastorale pittoresque par son archaïsme (élevage de moutons, manades de taureaux).

La conquête du sol n'a pas été menée sans arrêt, ni même sans recul au cours des siècles. Actuellement la surface des terres cultivables représente le quart de la superficie totale du delta du Rhône. L'abaissement du plan d'eau de l'Etang du Vaccarès à la cote 0 m. 50, libérerait 24.000 hectares pour la culture. La lutte contre le sel est bien la caractéristique la plus importante de toute la Camargue. Pour chasser le « salant », on emploie concurremment trois procédés : le lessivage du sol par les eaux douces (Rhône), l'évacuation par les roubines des eaux salées, et enfin l'utilisation des techniques culturales suivantes : d'abord établissement de rizières (submersion), puis des prairies (à l'arrosage), ce qui permet de cultiver ensuite une céréale, et de planter enfin de la vigne (submersion). Nous reviendrons sur l'extension de la riziculture dans la troisième partie de cet exposé.

Ainsi plusieurs années sont nécessaires à l'aménagement de ces alluvions salées. Et, quels que soient les projets à l'étude de la mise en valeur de la Camargue, les provençaux, si attachés à ce coin de terre, encore un peu mystérieux, peuvent être assurés d'y voir encore longtemps ces solitudes où, au crépuscule, dans une même lumière, se confondent la surface argentée des sansouïres et le plan d'eau des étangs. Ils retrouveront toujours ce pays de grand soleil et de grand vent, ce pays au ciel lumineux et de mirages, qu'évoque si bien MISTRAL dans « Mireille », cet admirable poème d'inspiration rhodanienne.

b) Sols salins continentaux

Certains anciens paluds et clars de Provence possèdent encore des sols salins. Nous les avons observés, notamment dans la région d'Althen-les-Paluds (Vaucluse). Il ne s'agit plus que de quelques taches de « salants » qui sont loin d'avoir l'ampleur, la vitalité des sansouïres de Camargue. La plupart du temps la remontée de sel ne stérilise pas complètement le sol. La végétation fléchit, les cultures subsistent encore, mais les rendements sont presque nuls. Et ce n'est qu'à la fin d'un été long et sec, qu'apparaissent nettement par endroits, les efflorescences salines à la surface du sol. Leur origine est sans doute due à la salure des marnes miocènes accumulées dans des fosses plus profondes.

7° SOLS DIVERS

a) *Sols tuffeux*. — Ceux-ci, très peu répandus dans la région du Bas-Rhône, occupent de petites surfaces dans quelques vallons sortant des masses calcaires de l'« isthme Durancien ». Nous en trouvons près de la Fontaine de Vaucluse et entre Villes et Mormoiron en bordure des hauts plateaux calcaires Vauclusiens ; puis, en bordure de la garrigue nîmoise, à Tavel et à Vers (Gard). Ces dépôts tuffeux ont pour les géobotanistes une certaine importance, car ce sont les seuls sédiments quaternaires qui puissent nous éclairer sur la composition et la distribution de la flore de cette époque.

b) *Sols de colmatage*. — Les sols de colmatage sont des apports récents des eaux d'irrigation des canaux issus de la Durance, recouvrant les alluvions à cailloux roulés (sols rouges et sols gris des Terrasses) ; ils peuvent se classer également parmi les *sols intra-sonaux*, puisqu'il s'agit bien, en l'occurrence, d'un facteur local particulier dû à l'action de l'Homme.

Ce sol artificiel est beaucoup plus visible sur vieilles prairies et luzernières car l'alluvionnement n'est alors contrarié par aucun labour.

L'action du colmatage est plus évidente avec la méthode d'irrigation dite des « calants provençaux » ou avec la submersion, qu'avec

le procédé d'arrosage par ados, réservé aux cultures maraîchères. On peut obtenir un apport de 1 mm. 1/2 par an.

Ce limon de colmatage a une composition agrologique variable puisque d'une part, il est sous l'influence des crues de la Durance et que d'autre part, les prises des canaux s'échelonnent sur plusieurs kilomètres, le long du cours de la Basse Durance, de Mirabeau, aux portes d'Avignon.

On a un limon calcaire nettement plus argileux que le sol initial. Les analyses suivantes nous l'indiquent nettement :

Sols artificiels de colmatage

	au Pontet (Vse) sur sol gris des Terrasses	en Crau (B.d.R.) sur sol rouge des Terrasses
Argile	29	10,0
Limon	32,8	28,0
Sable fin	21,8	19,3
Sable grossier	10,0	28,0
Matières organiques.....	6,4	4,2
Calcaire total	30	34,2

La modification de la composition physique du sol initial de ces zones ainsi colmatées est loin d'être négligeable, puisque l'on passe d'un sol sableux, perméable, à un limon nettement argileux. Il en résulte, du fait de la modification de la structure du sol, de la diminution de son degré de perméabilité, un ralentissement dans les arrosages. Toute l'organisation d'un canal d'irrigation, comme celui de Carpentras, par exemple, est à réviser progressivement ; les modules, les débits des martelières ont été modifiés dans certains cas pour obtenir les mêmes résultats pratiques que jadis. En Crau, on observe les mêmes phénomènes.

C'est la conséquence de l'influence humaine sur le milieu.

Nous avons déjà signalé que c'est à A. de CRAPONNE que revient le mérite des heureuses transformations de la Crau inculte, mais comme le signalent MOLINIER et TALLON (116) il semble que les résultats aient dépassé le but de A. de CRAPONNE qui, par la création de son canal, songeait davantage à alimenter en eau les moulins, qu'à transformer la Crau en bocage.

Quoi qu'il en soit, nous nous trouvons actuellement en présence d'une heureuse évolution pédologique due entièrement à la main de l'Homme. On récupère ainsi un peu de cette terre arable que la Durance arrache aux flancs de sa vallée supérieure.

Le colmatage est donc aussi indispensable en Crau que le drainage et l'irrigation ; on le pratique encore de la façon suivante : on inonde les terres lorsque les eaux du canal sont très boueuses et on mélange le « nite » ainsi déposé avec des couches de fumier (sur prairie, cette opération n'a pas lieu au moment des coupes).

80 SOLS RICHES EN MATIÈRES ORGANIQUES

Quand la matière organique d'un sol dépasse une certaine teneur, entre 8 et 10 %, on s'aperçoit nettement du rôle important que jouent ses produits de décomposition, les colloïdes humiques. Au point de vue pédologique et agronomique, il y a lieu de bien définir les formes d'humus rencontrées dans la nature. Au Troisième Congrès International de la Science du Sol (Oxford en 1935), on s'est mis d'accord sur les dénominations suivantes :

Mor = humus brut et *Mull* = humus doux. Cette nomenclature est basée sur les caractères morphologiques discernables sur le terrain. *L'humus brut* existe dans certaines forêts du Nord ou en altitude. La pluie qui s'égoutte lentement à travers le feuillage, passe à travers la couverture morte, s'enrichit encore en CO_2 , et lessive le sol qui est ainsi privé de bases. Ce lessivage n'est évidemment pas compensé, sous ce climat, par l'évaporation, et les produits acides de la décomposition de la matière organique végétale, ne sont pas neutralisés.

L'humus doux se forme dans la zone steppique, ou bien sous les climats continentaux où les phénomènes climatiques sont alors différents. L'évaporation est intense en été : il y a remontée des sels, et les produits de décomposition de la matière organique sont alors saturés par les bases.

Dans certains sols marécageux, l'humus est acide (très rare dans la région du Bas-Rhône) et il existe en profondeur un horizon à « gley » réducteur ; le fer passe à l'état ferreux et a une couleur noirâtre ou verdâtre.

A. *Sols climatiques et phytogéniques de montagne*. — Dans la région méditerranéenne, cette série comprend, d'une part des *sols noirs* (de pentes ou de hautes vallées) provenant d'une évolution plus poussée de types génétiques existant à plus basse altitude (sols rouges et bruns), et d'autre part, des sols purement phytogéniques indépendants de la roche sous-jacente, tels les *Humus Alpins*. Ceux-ci ne s'observent que dans les Cévennes (Mézenec, Aigoual, Lozère), c'est-à-dire en bordure de la région que nous étudions. En voici un exemple.

a) *Sol noir (Humus alpin)*. — Presque toute la zone des hautes vallées de la région du Haut-Vivarais (versant méditerranéen) a pour substratum un granite gneissique qui se désagrège assez facilement pour donner d'abord une roche « pourrie » appelée « gore », puis une arène gneissique très sableuse, constituant la principale roche-mère des sols de montagne de cette région.

En effet, les phénomènes de kaolinisation et de ferrugination que l'on observe encore dans certaines diaclasses du gneiss ou du granite et donnant, comme dans les cavités karstiques du calcaire dur, une « Terre Rouge », ne sont actuellement plus guère visibles.

L'érosion a fait disparaître beaucoup de ces poches et l'argile

feldspathique a été entraînée vers les rivières. Toutefois, sur les éperons et dans le bas des pentes, on retrouve un limon plus ou moins sableux donnant un sol brun.

Le sol le plus répandu est un sol noir de montagne (Humus Alpin), très sableux, à structure squelettique, issu directement des arènes gneissiques. Son profil est ainsi constitué :

— Horizon A_0 humifère, spongieux en surface (de 15 à 18 cm. d'épaisseur). Cet horizon noir caractérise ce sol de montagne. Il a exactement la même composition physique que son horizon inférieur.

— Horizon A squelettique lessivé lors de sa genèse (argile de la kaolinisation du gneiss entraîné par l'érosion), de 20 à 25 cm. d'épaisseur.

— Horizon C roche-mère constitué par l'arène gneissique à éléments grossiers (de 40 à 50 cm. d'épaisseur).

— Horizon C_1 substratum constitué par la roche-pourrie « gore », mais en place, environ 1 mètre d'épaisseur.

— Horizon C_2 substratum constitué par le gneiss ou le granite gneissique.

Enfin, on trouve des coulées de roches volcaniques, basalte et phonolite ; cette dernière roche constitue tout le substratum du plateau pastoral du Gerbier des Joncs et du Mézenc et donne un sol brun argilo-sableux, possédant également un horizon superficiel humifère noir. (Pelouse à Deschampsia, à nardus stricta, à festuca spadicea.)

Analyses des horizons superficiels

	Saint-Martial (Ardèche)	Hts-Pl. Mézenc (pelouse à nardus stricta)
Argile	3,5	4,2
Limon	4	9,5
Sable fin	25,8	29,7
Sable grossier	67,2	67,2
Calcaire	0	0
Matières organiques	10,6	10,4
	sur gneiss	sur phonolite

Le sol noir de montagne, à structure squelettique, sur arène gneissique, le plus répandu dans cette région, est avant tout un sol forestier. Il est pauvre, très perméable, sans colloïdes argileux : l'Humus acide de l'horizon A_0 accentue le lessivage de l'horizon A sous-jacent, notamment en ce qui concerne le fer et l'acide phosphorique. Il y a une véritable carence de ce dernier élément dans tous ces sols des Cévennes, et l'on n'en tient pratiquement, presque jamais compte.

Le châtaignier, qui est la principale ressource de ce pays dont l'économie rurale reste pauvre, trouve ici un « milieu » de plus en

plus défavorable à sa conservation et à sa reconstitution (érosion, perte de fertilité constante du sol, fragilité climatique).

C'est là, à notre avis, une cause du dépérissement de cet arbre aussi importante que la maladie de l'Encre.

Nous ferons les mêmes remarques à propos des prés *irrigués*, établis sur ce même sol, et sur lequel on n'apporte jamais d'amendement calcaire et peu d'engrais, notamment des scories.

Pourtant, cette irrigation en montagne qui s'effectue sur plusieurs milliers d'hectares entre 600 et 1.300 mètres, sur les flancs souvent très à pic des vallées est une technique très remarquable. On utilise la méthode dite de ruissellement par rigoles de niveau, mais les installations sont encore bien rudimentaires et méritent d'être modernisées (perte d'eau, éboulements, obstruction des rigoles, etc.).

Les sols bruns sur roches volcaniques et les sols colluviaux sont mieux constitués et conviendraient fort bien à deux cultures plus rémunératrices, et qu'il faudrait propager dans ces hautes vallées :

1° La pomme de terre de semence.

2° Le pommier.

b) *Sols noirs des pentes*. — Ces sols s'observent à partir de 1.000 à 1.100 mètres sur les pentes du Ventoux, de la Lure et des Monts de Vaucluse (région de Lagarde). Ils sont sur substratum calcaire compact et ont, ainsi que nous l'avons vu, la même origine que nos sols rouges sur « Terres Rouges », et que nos sols bruns (à 700 ou 800 m. d'altitude). Nous avons donc à partir de la même roche-mère, les « Terres Rouges » issues des cavités karstiques, une orientation vers ces trois types génétiques. L'action climatique de montagne, et le rôle de la végétation se font ici nettement sentir. L'humus masque la ferrugination, la proportion de fer libre étant tout aussi élevée dans les sols noirs que dans les sols rouges.

Analyse d'un sol noir sur substratum calcaire, Mont-Serein (Ventoux)

Argile	10,5
Limon	13,5
Sable fin	31,3
Sable grossier	45,5
Calcaire	0
Matières organiques	15,8
Fer libre	0,90

Ces sols noirs des pentes n'auront comme vocation que la forêt. C'est la zone des hêtres et des conifères. Sous la couverture forestière, le tapis végétal est ici beaucoup plus développé qu'en basse altitude, d'où le rôle de la végétation dans la genèse de ce type de sol.

c) *Sols noirs des hautes vallées*. — Certaines petites vallées élevées, comme celle de la Nesque, au pied du village de Sault de

Vaucluse, et celle du Toulourenc, au nord du Ventoux, possèdent en bordure de ces petits ruisseaux, une zone de sols noirs, en partie décalcifiés, et qui portent des prairies permanentes. Ce sont des sols fertiles qui peuvent servir, même à cette altitude (6 à 700 m.), d'excellents potagers à toutes les fermes échelonnées le long de ces vallons. Nous avons effectué un prélèvement de ce type de sol à La Loge, près de Sault, sur les bords de la Nesque. En voici l'analyse : Argile 43, Limon 31,4, Sables totaux 21,8, Calcaire 0,7, Matières organiques 5,8.

B) *Sols noirs des Paluds (anciens marais)*. — Nous avons observé ce type de sols dans la région des anciens marais de Mollègès et de Saint-Rémy, de Fos, des Baux et des Chanoines (Bouches-du-Rhône). Ces terres sont parfois en culture (prés). Dans bien des cas, des drainages sont nécessaires ; les écoulements sont parfois difficiles à obtenir (exemple du pompage abandonné des Grands Paluds de Fos) mais, par contre, le service du Génie Rural, exécute actuellement des travaux de remise en état des canaux d'assainissement des marais des Baux.

Ces sols contiennent une notable proportion de matières organiques. Ils sont encore calcaires (débris de coquilles). Voici, à titre d'exemple, trois analyses :

		Marais des Baux	Marais des Chanoines	Marais de Mollègès
		—	—	—
Argile	%	6,5	2,0	11,0
Limon	»	16,0	9,5	6,5
Sable fin	»	27,3	36,0	10,5
Sable grossier	»	39,0	38,0	49,5
Matières organiques	»	11,2	14,1	22,4
Calcaire fin	»	23,0	19,0	traces
Calcaire grossier.....	»	35,0	35,0	»
Calcaire total	»	58,0	54,0	»
Chlorures.....	o/oo	1,6	2,0	»

Vocation culturale. — Les paluds de Saint-Rémy et ceux des Baux portaient jadis des cultures florissantes (prés, cultures potagères). Les roubines qui évacuaient les eaux en excès étaient entretenues et le sol, tout en étant drainé, conservait une humidité naturelle suffisante (niveau assez élevé de la nappe phréatique). On n'avait pas besoin d'irriguer pour mener à bien les différentes cultures. Mais les organismes syndicaux chargés de l'exécution des travaux ne purent assurer l'entretien des canaux d'assainissement. C'est ainsi que près de 4.000 hectares sont redevenus des zones, marécageuses ou des friches. On s'occupe, à l'heure actuelle, de la remise en valeur de ces terres ainsi abandonnées.

Si nous voulons, à la fin de ce rapide périple, dégager quelques enseignements de cette étude pédologique, il nous faut tenir compte :

1^o De la nécessité de faire, pour les régions méditerranéennes, la discrimination d'une part, entre les sols anciens (sols rouges divers) que le climat actuel a conservés et a laissés visibles là où l'érosion ne les a pas détruits et, d'autre part, entre les sols de formation récente au début de leur évolution (sols alluviaux, sols squelettiques d'érosion), à l'exception toutefois des rendzines qui sont phytogénétiques.

En effet, la tendance évolutive actuelle n'est plus la même que jadis. Comme elle fixe la dynamique interne du sol, l'Agriculteur doit en tenir compte dans le choix des cultures et dans l'emploi d'amendements ou d'engrais. C'est ainsi que les sols rouges anciens sont arides et sont les seuls qui, dans le Bas-Rhône, soient dépourvus de calcaire.

2^o De l'influence de l'Homme.

En effet, l'antique civilisation méditerranéenne a été une des causes du déséquilibre entre les vocations forestières, agricoles et pastorales (*sylva, ager, saltus*).

L'extension, au cours des siècles, des terrains de pacage et des lieux de dépaissance (*saltus*), soit aux dépens des forêts (*sylva*), soit même aux dépens des cultures (*ager*), a toujours été en progression car elle a été liée aux conditions économiques et sociales qui lui furent favorables.

Or, ce *saltus* est essentiellement constitué de formations régressives issues de la forêt, tant au point de vue géobotanique que pédologique. Déjà peu favorisés dans leur genèse par les conditions climatiques et topographiques, il faut trouver là, une cause non négligeable de destruction de nos sols méditerranéens.

* * *

V. — CARTOGRAPHIE DES SOLS DANS LA RÉGION DU BAS-RHÔNE

Il est assez difficile, sur une carte de France à échelle de 1/2.500.000^e comme celle établie par AGAFONOFF et *a fortiori* sur celle d'Europe de STREME (1/10.000.000^e) d'avoir une bonne représentation des types de sols, surtout quand il s'agit de régions peu étendues, comme celle que nous étudions, par exemple. On est alors tenté de n'y faire figurer que le type que l'on considère comme étant le plus représentatif, et on risque alors, de commettre de graves erreurs, comme celles que nous relevons sur la carte de STREME où nous voyons des sols rouges méditerranéens (Roterde) occuper intégralement tout le Midi de la France, y compris la vallée du Rhône jusqu'à l'Isère.

Or, nous avons vu que les sols rouges méditerranéens sont loin de dominer dans la basse vallée du Rhône. Il en sera de même d'ailleurs en Languedoc et dans toute la basse Provence. Les sols gris, jeunes, des vallées et tous les sols squelettiques d'érosion, occupent des surfaces plus grandes et plus importantes au point de vue cultural.

Après avoir fait pour la région d'Avignon une première carte pédologique au 1/200.000^e, nous sommes en train d'établir pour la vallée du Rhône une carte des sols au 1/50.000^e aussi précise que l'échelle le permet. Sur cette carte, les sols gris alluviaux, ceux qui intéressent le plus la culture, figurent avec leur dominance agrolologique (tendance argileuse, limoneuse, sableuse ou graveleuse) (*).

Voir également (*) l'atlas de géographie agronomique des cinq départements du Bas-Rhône (cartes climatiques botanique, des Roches-mères, des sols et des vocations culturales de l'Ardèche, de la Drôme, du Gard, du Vaucluse et des Bouches-du-Rhône).

Signalons également que, dans l'établissement de la carte de la végétation de France et dans celle des groupements végétaux, les phytogéographes, notamment GAUSSEN, présentent à une petite échelle une carte pédologique de la région étudiée.

§ 3. LA CONSERVATION DU SOL

La conservation de la terre arable est un problème qui se pose pour la région méridionale française d'une façon presque aussi pressante qu'en Afrique du Nord ou en Espagne. Aux Etats-Unis, on sait que cette question est tellement angoissante que l'on a créé un service spécial de la conservation des sols.

La situation n'est pas si grave en France ; elle doit retenir néanmoins notre attention dans le Midi.

Nous avons déjà par ailleurs (17) fait une mise au point de ce problème général ; nous nous bornerons ici à en indiquer les données pour la région du Bas-Rhône.

* * *

L'usure du sol qui va jusqu'à sa disparition complète, n'est qu'une phase du *phénomène général de l'érosion* étudié par les géologues et les géographes. Mais ceux-ci se préoccupent surtout de l'attaque et de la désagrégation des *roches* par le vent, la pluie, la mer ou les glaciers, ainsi que du transport des éléments détritiques qui en résultent.

Il est assez curieux de faire remarquer que cette loi inexorable de la nature contribue d'abord à créer un sol avant de le détruire ensuite, puisque c'est aux dépens soit des sédiments rocheux désa-

(*) Ces cartes peuvent être consultées à la Station Agronomique d'Avignon.

grégés sur place, soit des alluvions ou des dépôts colluviaux qu'il peut se former.

Le mécanisme de l'érosion des sols est simple, mais pour le comprendre il ne faut pas perdre de vue le lien étroit qui unit le sol et la plante.

En effet, le sol donne aux plantes leur nourriture et leur possibilité de vivre, les plantes donnent au sol un composant essentiel qui est l'humus et la possibilité de rester toujours en place.

La perte de la couverture végétale constituée par l'horizon humifère du sol, entraîne la perte des autres horizons sous-jacents qui finissent par disparaître jusqu'à la roche originelle, laquelle est ainsi mise à nu dans toute sa stérilité.

Ce mécanisme de l'érosion du sol se produit sous l'action du vent et de l'eau dans des régions généralement accidentées et ayant un climat bien déterminé (continental, demi-aride et tropical).

— Les causes de la perte de la couche végétale du sol, puis, de tout le sol, entraînant avec elle un assèchement général de la région sont au nombre de trois, correspondant au cycle sylvo-pastoro-cultural :

- 1° *Sylva : Destruction des forêts (par abattage et par le feu) ;*
- 2° *Saltus : Abus des pâturages (charge trop forte du bétail) ;*
- 3° *Ager : Pratiques de la culture sèche (Dry-farming) et de certaines cultures extensives.*

Comme il doit y avoir une certaine harmonie, sous un climat déterminé, entre le bois, le pré et le champ, et comme au cours des siècles, on passa de plus en plus du premier au dernier, il est naturel de constater dans la destruction des forêts, le point de départ de la dégradation, puis de la perte totale, de certains de nos sols.

Les effets de l'érosion se font sentir non seulement sur les lieux mêmes de l'enlèvement du sol, mais aussi dans les régions plus lointaines, là où se déposent les matériaux arrachés.

Ainsi dans un bassin hydrographique, on aura :

- 1° *En amont :*
 - a) *la destruction partielle ou totale des sols,*
 - b) *la modification du régime des eaux*
- et le tarissement des sources.*
- | | |
|---|---|
| } | Perte des profils
pédologiques
et hydriques |
|---|---|

- 2° *En aval :*
 - a) *l'aggravation des inondations ;*
 - b) *la modification des sols par colmatage (apports de sables, de graviers et de limons) ;*
 - c) *l'enlèvement des canaux d'irrigation et des roubines d'écoulement ;*
 - d) *l'ensablement des cultures par le vent.*

Toutes les zones d'un bassin hydrographique constituent une unité naturelle dont la bonne exploitation, que ce soit celle du labou-

reur, celle du bûcheron ou celle du berger, doit être réglée par les conditions climatiques, topographiques et pédologiques.

En France méditerranéenne, on aura à craindre les méfaits des crues subites du Tech, du Têt, de l'Aude, de l'Orb, de l'Hérault, du Vidourle, du Gard, de la Cèze, de l'Ardèche, du Rhône, de l'Ouvèze, de l'Aigue, de la Durance et de ses affluents, du Var, etc.

Les inondations déjà si redoutables de ces cours d'eau méridionaux deviendront de plus en plus fréquentes et de plus en plus graves du fait du déboisement et elles viendront menacer l'agriculture florissante de nos basses plaines irriguées.

Ainsi nous assistons, d'une part, à la destruction de richesses dans nos collines, destruction irrémédiable puisque le peu de sol qui les recouvrait est parti et qu'il ne peut plus se former dans les conditions actuelles, et, d'autre part, à la destruction par les inondations et le limonage d'autres richesses dans nos vallées (vignobles, primeurs, céréales, arbres fruitiers, etc.).

Sans avoir à redouter les effets véritablement catastrophiques de l'érosion tels qu'on les constate aux Etats-Unis, les cultivateurs provençaux et languedociens ont le droit de s'émouvoir, car c'est l'avenir de leur sol, de leur bien qui est en jeu, ce sol que les efforts séculaires et la sagesse de leurs ancêtres ont pu conserver tant bien que mal. En effet, il y a lieu de faire remarquer, que si l'Homme n'est pas dépassé par ce phénomène redoutable, il peut par son ingéniosité, en profiter même : c'est ainsi qu'il utilise, dans le Bas-Rhône, comme nous l'avons vu, les limons que charrie la Durance et qui proviennent de son bassin supérieur, pour colmater et améliorer les sols peu épais des garrigues du Comtat Venaissin (par le canal de Carpentras) et de la Crau (par le canal de Craponne), sols déboisés et soumis à l'érosion éolienne du mistral.

Signalons aussi la très vieille pratique de l'« enlimage » en Provence et qui consistait, quand les pentes étaient encore boisées, à recueillir dans les fossés le terreau des bois et le limon léger qui servait à fumer les terres de culture situées en contrebas GIRARD (76).

Les moyens de lutte et de contrôle dans le Bas-Rhône.

1° *Contre le vent*. — Nous avons vu qu'en Provence, pour protéger les cultures contre le mistral on emploie les haies de cyprès, de thuyas et des abris confectionnés avec des cannes de Provence sèches (*Arundo donax*). Il y aura lieu d'étendre ce procédé pour protéger non les cultures, mais le sol lui-même, contre les actions de l'érosion éolienne dans les zones dangereuses, notamment celles où l'on trouve les sols squelettiques sableux, en pente et labourés.

D'ailleurs il suffira seulement de briser le vent pour en atténuer sa violence ; dans ce cas, l'épaisseur des abris n'a pas besoin d'être aussi dense. On pourra utiliser des arbres ou arbustes mieux adaptés à ce type de sol (laurier-thym, buis, romarin, chêne kermès, etc.). Sur les sables du littoral, plantés en vignes françaises (région d'Aigues-

Mortes), on lutte contre l'érosion éolienne en pratiquant « l'enjoncage ». Après les labours de printemps, on enfonce entre chaque rangée de vignes au moyen de charrue à disques, des joncs coupés qui fixent le sable.

2° *Contre l'eau.* — Pour lutter contre les effets des eaux de ruissellement sur les pentes, on pratique depuis deux millénaires, dans la vallée rhodanienne et dans tout le Midi, les cultures en terrasses appelées « faysses » dans le Bas-Vivarais, et « restanques » en Provence. Ces terrasses sont soutenues par des murs en pierres sèches que l'on trouve sur place, depuis les granites des banquettes de l'Hermitage jusqu'aux dalles en grès des restanques du Var. Certains de ces murs, qui d'ailleurs, sont fort bien construits, résistent très longtemps et l'on voit en Provence, de nombreuses restanques abandonnées ; elles étaient jadis cultivées en vignes ou oliviers et elles sont peu à peu envahies par le pin d'Alep. Nous avons affaire à un bois post-cultural qui a pu facilement s'installer, car *le sol est fixé par ces terrasses* ; cette essence forestière se maintient même si quelque mur de soutien s'écroule, car l'arbre, alors, est là pour diminuer les risques d'érosion.

Grâce à ce moyen, on a pu ainsi passer, sans aléas, du stade cultural au stade sylvicole, ce qui n'est certes pas toujours réalisable dans le Midi méditerranéen.

3° *Aménagement des garrigues.* — L'aménagement rationnel des garrigues en lieux de pâturages (saltus) pour ovins, n'est pas sans intérêt pour les propriétaires de ces terrains déshérités ; ce problème a été fort bien étudié par KUHNHOLTZ LORDAT (92).

Cet auteur distingue ainsi plusieurs « saltus » en rapport étroit d'ailleurs avec la roche-mère et les sols.

1° **Saltus sur calcaire compact :**

C'est la garrigue enrochée après l'érosion des pentes et les pratiques incendiaires (zone des sols rouges des lapiaz et pénéplaines calcaires, zone des sols rendziniformes des pentes des pays de Sault et d'Apt). Ici le petit chêne kermès est l'un des meilleurs colonisateurs, mais s'il disparaît c'est une végétation plus rase qui prend le dessus et au milieu des touffes de thym et de lavande aspic nous trouvons le saltus à brachypode rameux. Le mouton aime cette herbe courte que l'on a trop tendance à régénérer par les feux. Une réglementation de cette pelouse à brachypode doit donc être envisagée par une mise en défense convenable, par rotation des feux et par modification de la composition floristique insuffisamment variée. Sinon, on risque d'atteindre rapidement le stade ultime et stérile de la dégradation avec les asphodèles, les chardons et les euphorbes inutilisables, stade sur lequel nous avons déjà attiré l'attention.

2° **Saltus sur calcaires tendres et marnes :**

Sur ces roches-mères et sols qui en dérivent (sols bruns calcaires et sols rendziniformes) dominant le pin d'alep, arbre typiquement

provençal, mais nous avons affaire dans cette zone plutôt à un *saltus boisé*. Nous y rencontrons une plante mélifère, le romarin accompagné d'une flore herbacée assez variée en ressources alimentaires : graminées, légumineuses et aphyllanthe. Cette dernière plante, petite liliacée à fleur bleue, si profitable aux moutons, devrait être protégée et répandue le plus possible afin de ralentir l'érosion si facile sur ces sols meubles et ces roches tendres.

3° **Saltus sur roches siliceuses :**

Il est plus restreint dans le Bas-Rhône. Nous le trouvons sur les débris de silex du plateau de Sault, sur les collines gréseuses d'Uchaux, sur les sables de Saint-Laurent-des-Arbres et sur les terrasses rhodaniennes décalcifiées.

Souvent le pin maritime colonise ces zones après éviction des chênes par les abus ; on y trouve également quelques châtaigniers, puis nous y rencontrons la callune, les bruyères, l'arboussier et les cystes silicicoles. La Crau, avec ses « coussous » représente un saltus sur roches siliceuses très dégradé.

Et KUHNHOLTZ-LORDAT (92) conclue ainsi :

« Le saltus méditerranéen a ses caractères propres, obligatoirement extensifs, parce que très difficilement améliorables. Et c'est pour cela qu'il convient d'étudier particulièrement les possibilités d'un appoint complémentaire puisé dans l'« ager ». Celui-ci, comme la forêt, peut parfaitement être conduit par des méthodes intensives. »

4° **Méthodes culturales :**

Certaines méthodes, comme le dry-farming ne sont pas recommandables pour nous aider à combattre les effets de l'érosion. « Les cultures sèches et l'érosion sont des « compagnons indésirables. » (J. RUSSELL) (137).

On peut obvier en partie à cet inconvénient en opérant les labours sur les pentes, suivant les lignes de niveau, PIEDALLU (128), préconise l'emploi de l'explosif agricole, l'eau au lieu de raviner, s'infiltre dans le sol devenu meuble et fissuré. BOUSSINGAULT (*) conseillait purement et simplement, l'engazonement, pratique culturale bien difficile à concevoir pour nos sèches collines provençales.

Voici une méthode mixte essayée avec succès par CHAPTAL (40) (Station d'Oléiculture de Bel-Air à Montpellier) et qui nous paraît être la solution la plus favorable et la plus réalisable par les temps actuels et pour nos régions méridionales.

Il s'agissait de protéger une plantation d'oliviers située en pente (10 cm. par mètre) sur un sol squelettique sur marnes bleues de l'Aquitainien et qui était périodiquement raviné par les eaux de ruissellement.

On a semé du lotier corniculé en bandes de niveau dans un interligne sur deux de la plantation d'oliviers. L'interligne non

(*) Economie Rurale. Béchet Jeune. Edit. Paris 1851.

occupé par le lotier recevait de nombreuses façons culturales perpendiculairement à la pente et l'on y enfouissait le fourrage récolté dans l'autre rangée d'oliviers. On intervertissait les deux rangées d'interlignes quand le rendement en lotier commençait à fléchir. Le résultat, vis-à-vis de l'érosion, fut des plus satisfaisant ; aucun ruissellement ne se produisit. Ainsi, cette méthode de culture comprenant une jachère travaillée, avec enfouissement d'engrais vert obtenu en culture intercalaire (oliviers ou arbres fruitiers) nous paraît des plus recommandables. Elle permet de lutter à la fois contre les effets de la sécheresse et de l'érosion. De plus, elle a l'avantage d'accroître la stabilité structurale du sol en élevant la teneur en matières organiques, toujours déficiente dans nos sols méridionaux. Elle permet aussi d'avoir du fourrage supplémentaire en année de disette.

On pourra remplacer dans certains types de sols squelettiques (sableux des mollasses ou des grès) le lotier par les vesces, les jesses et la ers lentille.

On aura toujours intérêt dans la région du Bas-Rhône, à prévoir une rotation avec des cultures de repos — les légumineuses notamment. — On se rapprochera ainsi de l'antique assolement provençal qui consistait à cultiver fort judicieusement d'ailleurs, les fèves (récolte des graines et enfouissement des tiges) suivies d'un blé, le tout sous le feuillage léger des vieux oliviers.

— Enfin, dans ce programme concernant la protection des sols du Midi de la France, il faut réserver une place importante à la pédologie car l'étude des types de sols, des variations de leur profil, nous permettra de déceler les premiers signes de l'érosion.

On pourra, en effet, parfaitement percevoir soit les premiers symptômes de dégradation des sols, soit au contraire ceux de leur formation. On opérera ainsi un contrôle très précis de ce phénomène et on pourra même essayer de le cartographier.

Dans le premier cas, la perte de l'horizon humifère superficiel, le lessivage de la chaux, le déplacement de certaines bases (magnésie par exemple) et des colloïdes argileux du sol, la migration du fer, nous seront très utiles à connaître.

Dans le deuxième cas, on tâchera de trouver une preuve de la plus ou moins grande rapidité de la formation du sol, par la présence, par exemple, de restes préhistoriques ou de ruines archéologiques. (Il s'agit de la genèse rapide de sols phytogéniques, c'est-à-dire, dus à la végétation).

En voici pour la région du Bas-Rhône, quelques exemples :

— a) Au col de l'Homme Mort, dans les Cévennes, MARCELIN a découvert une Station *néolithique* sous la couche d'humus alpin.

— b) A Barbégat (près d'Arles) on trouve un sol de rendzine daté (sol humifère calcaire) recouvrant une ancienne minoterie romaine.

— c) En Provence (Nîmes, Arles, Vaison, etc.) tous les monuments romains sont en contrebas de 1 mètres par rapport au niveau du sol actuel (limons éoliens ou colluviaux).

— *d*) Au Ventoux, on assiste nettement à la formation d'une rendzine sous la plantation de cèdres qui date seulement d'une soixantaine d'années, alors qu'avant ce reboisement, la pierreaille calcaire était à nue.

D'une façon analogue, la phyto-géographie peut nous donner, en maintes circonstances, d'utiles renseignements sur l'évolution des différentes phases de l'érosion du sol.

C'est ainsi qu'en Provence, le déboisement et les incendies de forêts qui accentuent, d'années en années, la disparition du tapis végétal et le dessèchement progressif du climat, laissent entrevoir l'installation définitive du « *Quercetum cocciferae* » (association du chêne kermès) considéré, jusqu'à présent, comme un simple stade de dégradation du « *Quercetum ilicis* » (association du chêne vert).

Cet étage du chêne kermès deviendrait ainsi, à la place de celui du chêne vert, une nouvelle association climatique avec sa phase éventuelle de dégradation, le « *Brachypodium ramosi* » (pelouse à brachypode rameux).

MOLINIER (113) relate que les prémices d'une telle évolution, sont déjà très sensibles sur les chaînes les plus littorales de la Provence, notamment dans la Nerthe.

Signalons, enfin, un dernier mode de destruction des sols et de modification du profil hydrique : l'action des bombardements aériens aux endroits où la densité des entonnoirs (de 5 à 7 mètres de profondeur et de 12 mètres de diamètre) est venue complètement bouleverser le sol.

Le substratum, de nature différente est remonté à la surface, la nappe phréatique a été mise à jour. Ici, également une étude pédologique de la propriété sera nécessaire pour éviter des erreurs graves dans la remise en état des lieux. C'est ce que nous avons fait pour certaines fermes de la zone bombardée d'Avignon.

Tels sont les moyens de contrôle et de lutte contre l'érosion des sols du Midi de la France que nous avons à notre disposition. Bien des améliorations peuvent être encore recherchées, mais il est néanmoins grand temps, en bien des endroits, de se mettre à l'œuvre et d'agir.

Il ne faudrait pas que, par la faute même de l'Homme, la Pédologie, devant de plusieurs millénaires la Géologie, n'écrive, comme le disait TERMIER, la dernière page de l'Histoire de l'Humanité.

§ IV. — DYNAMIQUE DES SOLS

Nous avons vu que le sol n'est pas une substance inerte ; il naît, il vit, puis meurt. Les lois générales qui président à la vie des sols, à sa dynamique, concernent à la fois le milieu physique, chimique et biologique et règle ainsi les bases de la fertilité.

Les recherches que nous avons entreprises portent sur deux points seulement de ce très vaste sujet d'étude.

1° Rôle de l'humus dans les terres du Midi de la France et moyen d'y maintenir un taux convenable de matières organiques ;

2° Recherches et expérimentations sur certains engrais (évolution de l'urée dans le sol) et considérations générales sur la fertilisation des cultures maraîchères du Bas-Rhône.

* * *

1° Le problème de l'humus dans les sols du Midi de la France

I. — Rôle de l'humus

On sait que l'humus constitue avec l'argile, la partie colloïdale du sol. Sous cette forme extrêmement tenue, ces deux éléments ainsi combinés, jouent le rôle régulateur de complexe absorbant vis-à-vis de l'eau et des engrais, empêchant ainsi l'entraînement des bases (calcium, potassium, magnésium). Du fait de leur union avec l'argile, les colloïdes humiques acquièrent la faculté d'exercer des actions très supérieures à celles qu'ils produiraient s'ils demeuraient à l'état isolé.

Dans les sols agricoles, ces colloïdes doivent être normalement à l'état floculé. Cette floculation que provoque le calcium (d'où l'importance du calcaire dans les terres) est nécessaire à la formation et au maintien des grains terreux désignés sous le nom d'agrégats (bon état physique des sols).

Les colloïdes humiques améliorent en effet la structure des sols ; ils donnent, un peu de cohésion aux sols sableux et ameublissent les sols compacts. Ces actions apparemment contradictoires, s'expliquent très bien : dans le premier cas, les colloïdes humiques coagulés, se comportent comme un agglutinant ; dans le deuxième, l'humus se fixe sur l'argile grâce au calcium et il en résulte la formation d'agrégats comparables, à ceux que donnerait un apport de chaux.

Cette action liée à l'association des deux colloïdes, nous donne l'explication du rôle fondamental des matières organiques dans la stabilité de la structure des sols (DEMOLON) (46).

C'est ainsi que les sols de « boulbènes » de la vallée de la Garonne, décalcifiés et privés d'humus, se noient en hiver et se dessèchent en durcissant pendant l'été ; tandis que les limons du Nord de la France, moins pauvres en matières humiques et non décalcifiés, gardent une structure favorable (DEMOLON) (49). Il en sera de même pour nos sols d'alluvions calcaires de la vallée du Rhône, du moins ceux normalement pourvus en matières organiques.

Grâce à l'humus, par conséquent, un bon sol conserve cette structure granuleuse la plus favorable au développement des plantes cultivées ainsi qu'à la circulation de l'eau et de l'air dans les horizons

superficiels du sol. D'autre part, la perte de la matière organique de la terre arable a, comme conséquence, de modifier sa structure qui devient labile. Il y a destruction des agrégats et formation d'une poudre facilement enlevée par le vent (érosion éolienne).

Les agriculteurs doivent donc considérer toutes les matières organiques qu'ils incorporent à leur terre, surtout comme des *amendements* humifères agissant *sur le sol* et non pas comme des *engrais* agissant directement sur la *plante* pour la nourrir.

Toutefois, la fertilité d'un sol riche en matières organiques peut être accrue chimiquement, car l'humus a la propriété de rendre progressivement assimilables certains éléments fertilisants en réserve dans le sol. C'est ce qui se passe pour l'azote, et également pour l'acide phosphorique. Dans ce dernier cas, il y a une combinaison d'absorption avec l'humate calcique des matières organiques.

Dans un récent travail CHAMINADE (37) a mis en évidence la présence de ces complexes phospho-humiques qui sont très stables et qui représentent une forme assimilable d'acide phosphorique.

Enfin, au point de vue biologique, la matière organique des terres, est aussi le foyer de colonies microbiennes auxquelles on attribue, à juste titre d'ailleurs (nitrification en particulier), une part importante de la fécondité des sols.

II. — Etat humique de nos sols méridionaux

Beaucoup de nos sols de culture, surtout dans le Midi, sont des sols « minéraux » ayant une teneur en matière organique peu élevée.

Dans le Bas-Rhône, que ce soit les sols rouges méditerranéens répandus sur les calcaires durs, sur les terrasses fluviatiles et sur les dépôts éoliens, que ce soit les sols jeunes des alluvions ou les sols salins, il est bien rare qu'ils renferment plus de 2,5 % de matières organiques.

Ce fait est dû, d'une part, aux sources peu abondantes de matières organiques et, d'autre part, à leur disparition rapide dans les sols du Midi.

En effet, la végétation xérophile (c'est-à-dire armée contre les excès du climat chaud et sec) est peu apte à fournir de l'humus et sa destruction s'opère rapidement dans les sols calcaires et fortement insolés.

Toutefois, ainsi que nous l'avons vu, certaines conditions climatiques et altitudinales permettent de rencontrer des sols plus riches en matières organiques. C'est ainsi qu'à mesure que l'on s'élève sur les montagnes calcaires bordant la région du Bas-Rhône, que ce soit dans les Monts de Vaucluse (plateau de Saint-Christol) ou dans les Causses du Gard par exemple, le sol rouge se transforme en sol brun ; on peut même avoir, comme à l'Aigoual et au Ventoux, des sols noirs du type « humus alpin ». Ce changement de coloration est dû à l'humus plus abondant.

Sur les pentes un peu élevées et boisées de ces mêmes montagnes calcaires on trouvera également un sol calcaire humifère appelé « rendzine ».

Ce sont là des exceptions : la presque totalité des terres cultivables du Midi n'appartient pas à ces trois types de sols et elles sont, de par nature, peu riches en humus. L'agriculteur, et ce doit être là une de ses premières préoccupations, peut enrichir son sol en matières organiques et les maintenir à une teneur d'environ 4 % (nous en étudierons les moyens tout à l'heure).

Nous en avons trouvé quelques exemples dans la région du Bas-Rhône comme le prouvent les chiffres qui figurent sur le deuxième tableau ci-après.

TABLEAU I

N°	Lieu de prélèvement	Type de sol	Matière organique	Acide phosphorique Méthode acéto-acétique
1	Saze (Gard)	Sol rouge méditerranéen sur calcaire dur.	1,7	10 milligr.
2	Chanos-Curson (Drôme)	Sol rouge sur terrasses fluviales.	0,6	4 —
3	Lauris (Vaucluse)	Sol squelettique sur molasse sableuse.	1,7	0,85 —
4	Roquemaure (Gard)	Sol squelettique sur sable de l'Astien.	1,7	10 —
5	Les Stes-Maries-de-la-Mer (B.-du-Rh.)	Sol squelettique sur sable éolien.	0,7	8 —
6	Sault (Vaucluse)	Sol rendziniforme.	2,0	5 —
7	Meynes (Gard)	Sol gris jeune des vallées.	2,4	6 —
8	Camargue (Barcarin) (B.-du-Rhône)	Sol salin maritime.	0,8	6 —
9	Saint-Martin-de-Crau (B.-d.-R.)	Sol rouge sur terrasses « coussous ».	2,0	4 —

TABLEAU II

N°	Lieu de prélèvement	Type de sol	Matière organique	Acide phosphorique Méthode acéto-acétique
1	St-Rémy-de-Provence (B.-du-Rhône)	Sol noir d'ancien palud.	4,4	40 milligr.
2	Mollèges (B.-du-Rhône)	Sol gris, jeune, des vallées.	4,3	35 —
3	Courthézon (Vaucluse)	Sol gris, jeune, des vallées.	6,0	60 —
4	Uzès (Gard)	Sol gris, jeune, des vallées.	7,2	45 —
5	Le Thor (Vaucluse)	Sol gris, jeune, des vallées.	4,8	30 —
6	Bellegarde (Gard)	Sol gris, jeune, des vallées.	5,2	60 —
7	Saint-Martin-de-Crau (B.-du-Rhône)	Terre d'apport (colmatage).	5,0	50 —

Ces exemples ont été choisis également pour montrer le parallélisme qui existe entre la teneur en humus des sols du Midi de la France et l'assimilabilité de l'acide phosphorique qu'ils contiennent.

En effet, dans le premier tableau où les sols sont peu riches en humus (et c'est hélas, la règle !) la quantité d'acide phosphorique assimilable est bien au-dessous de la dose normale < à 30 milligr., tandis que l'on constate l'inverse dans le deuxième tableau (sols riches en matière organique).

Nous avons approfondi ce problème au laboratoire, pour les sols du Midi, avec LIDOYNE (22) et nous avons pu nous rendre compte qu'il s'agit bien d'une combinaison phospho-humique de forme très assimilable.

Nos recherches ont porté, sur deux des sols les plus typiques du tableau II les Nos 4 et 7.

Pour enlever la matière organique de nos deux sols, nous avons le choix entre deux procédés : traitement à l'eau oxygénée et calcination. Dans le premier cas les chiffres de l'indice d'acide phosphorique assimilable (méthode acéto-acétique) sont restés sensiblement les mêmes, avant et après traitement à H_2O_2 .

Ce résultat confirme nos observations antérieures, à savoir qu'avec des terres calcaires ce moyen de destruction des matières organiques est inopérant.

La calcination, au contraire, diminue bien la quantité d'acide phosphorique organique solubilisé, celui-ci repassant sous forme non assimilable.

On doit donc considérer que l'acide phosphorique de nos sols méridionaux se trouve, pour une grande part, combiné à l'humus et que son pouvoir d'utilisation est élevé.

Au point de vue pratique, la meilleure utilisation des engrais phosphatés minéraux est donc en rapport direct avec la présence dans le sol d'une quantité suffisante d'humus.

III. — Amendements humifères

Le manque de fumier

Les pays méditerranéens ne sont pas des pays d'élevage ; les moutons qui représentent dans une exploitation de polyculture la partie la plus importante du cheptel vif, ne restent guère en pacage et à la stabulation. En outre, dans le Bas-Rhône, les gros troupeaux s'en vont, six mois durant, en transhumance dans les Alpes ou les Cévennes, fuyant les plaines et les garrigues desséchées par l'implacable été méditerranéen. On conçoit, dans ces conditions, que l'agriculteur méridional manquera toujours de fumier, même en temps normal.

Il ne devra pas hésiter à utiliser les pailles en excédent et les déchets cellulósiques de toutes sortes (fanes, feuilles, foin avariés, etc.) pour fabriquer un *fumier artificiel*, ou plus exactement, comme le dit DEMOLON, un fumier d'une fabrication artificielle.

La mise au point de cette technique a été faite d'une part, par la Station Centrale d'Agronomie de Versailles (DEMOLON et BURGEVIN) (45), en partant des différentes pailles, d'autre part, par nous-mêmes (16), en utilisant tous les déchets fermentescibles des champs et des villes (ordures ménagères triées).

1° *Le traitement rationnel des gadoues et fumiers par voie microbienne permettant leur utilisation agricole.*

Les matières organiques employées comme engrais sous forme de débris végétaux et animaux (fumiers, gadoues) subissent des modifications biochimiques diverses qui influent beaucoup sur le degré de fertilité du produit obtenu. La connaissance des réactions qui interviennent offre, à côté de son intérêt scientifique, une utilité pratique incontestable, puisque, par divers procédés, on peut exercer une influence capitale sur le cours de ces réactions et sur la qualité de leurs produits ultimes qui renferment les principaux aliments des plantes.

La transformation des gadoues et fumiers en un terreau noirâtre, stade assez mal défini que l'on appelle humus se fait plus ou moins rapidement par deux processus principaux différents : phénomène d'*éremacausis* et phénomène de *putréfaction*.

L'*éremacausis* est la transformation aérobie de la matière organique par combustion lente (oxydation).

La *putréfaction* est la transformation anaérobie de la matière organique par certains ferments (réduction).

L'*éremacausis* a lieu dans les conditions suivantes :

- 1° Si l'aération du milieu est bien faite ;
- 2° Si la température est assez élevée (optimum : 35° ; maximum : 80°) ;
- 3° Si l'humidité est suffisante. En effet, les matières organiques se décomposent d'autant plus vite qu'elles sont humides, sans toutefois que les pores et interstices des gadoues en fermentation ne soient obstruées au point d'entraver l'action de l'air.

D'autre part, une faible alcalinité favorise l'*éremacausis* et l'oxydation du carbone est augmentée par l'addition des phosphates ou des nitrates (solutions très diluées).

Les chlorures ralentissent, au contraire, l'*éremacausis* et la nitrification.

Putréfaction. Quand l'air ou plus exactement l'oxygène n'arrive plus à la matière ou n'y arrive qu'au-dessous de certaines limites, le mode de décomposition est tout autre que dans le cas précédent. Il se forme alors beaucoup moins de produits gazeux qui sont principalement de l'acide carbonique, du méthane, de l'hydrogène sulfuré, de l'hydrogène phosphoré, du protoxyde d'azote, de l'azote : la matière organique constitue une masse de teinte plus ou moins foncée, très difficile à se décomposer et qui, outre ses principes propres non azotés, renferme divers composés

azotés (indol, scatol, acides amidés, etc.), de l'ammoniaque, parfois des nitrites et des acides gras volatils (acides formique, butyrique, acétique, propionique, valérianique).

La plus grande partie des principes minéraux s'y trouve sous une forme inassimilable.

Ce mode de destruction des matières organiques est beaucoup plus lent que l'éremacausis et conduit à des composés bien moins intéressants au point de vue de la pratique agricole.

C'est pourquoi, dans les expériences que nous avons entreprises, nous nous efforçons de laisser la plus large place au phénomène de l'éremacausis, en favorisant par les moyens connus et par de nouveaux procédés, la destruction rapide des matières organiques des gadoues et fumiers (*).

— Erémacausis et putréfaction peuvent se présenter simultanément dans la même masse, suivant que les diverses couches de gadoues et fumiers reçoivent plus ou moins d'air. Mais en dehors de ces principaux modes de décomposition, il y a d'autres phénomènes secondaires qui jouent parfois un rôle important dans la décomposition des débris végétaux (fermentation alcoolique et butyrique — fermentation ammoniacale, etc.).

Désintégration de la matière organique par protéolyse microbienne.

L'appareil que nous avons employé pour le traitement par voie microbienne des gadoues et la fabrication du fumier artificiel aseptique est un *Silo à fonctionnement continu* présentant les caractéristiques suivantes :

1^o Utilisation des phénomènes d'oxydation (érémacausis) en évitant, par une aération voulue et calculée (latérale et centrale), les phénomènes de putréfaction qui donnent au point de vue agricole des produits non assimilables ;

2^o On utilise les ferments de l'urée pour activer les réactions aérobies en élevant la température rapidement et en la maintenant pendant toute la durée de l'opération à plus de 70°.

De ce fait, la durée de la fermentation est réduite à 20 jours et on obtient un fumier d'une richesse en azote de 1,10 à 1,20 % (on récupère également les gaz ammoniacaux) ;

3^o La fermentation est rendue régulière et continue par une double paroi isolante qui évite l'influence de la température extérieure ;

4^o On récupère la chaleur perdue sans refroidir la masse des gadoues ;

5^o L'opération est continue et grâce à un dispositif de grilles, on évite les pertes de place par suite du tassement de la matière.

(*) On a songé à récupérer par la putréfaction le méthane qui se dégage et à l'utiliser comme combustible dans les fermes (procédé DUCELLIER et ISMAN). Si industriellement on peut combiner ce procédé avec le nôtre pour le traitement des gadoues, il paraît peu viable à la ferme, étant donné la complexité de l'installation et de son fonctionnement.

RÉSULTATS DES EXPÉRIENCES

Température des gadoues dans le silo de fermentation

(Essai du 14 Octobre au 3 Novembre 1928)

Dates	Température extérieure		Température des gadoues dans le silo	
	Maxima	Minima	Matin	Soir
14 Octobre	18	8,5	70	75
15 —	14	6,5	76	78
16 —	10,5	2	82	85
17 —	16,5	1,5	85	85
18 —	19,5	7	85	84
19 —	19	12	83	82
20 —	21	11,5	82	80
21 —	21,5	16	78	78
22 —	18,5	10,5	78	78
23 —	16	4,5	78	77
24 —	20	5	76	76
25 —	20,5	5	75	75
26 —	22	11	74	74
27 —	17	13	74	74,5
28 —	14	4	73	73
29 —	11,5	6,5	72	72
30 —	15,5	4	72	72
1 Novembre	18	8,5	72	72
2 —	—	—	71	71
3 —	—	—	70,5	70
			70	70

* * *

Analyses des gadoues après 20 jours de fermentation

(Résultats de plusieurs expériences)

	%	%	%	%
Azote total	1,08	1,05	1,10	1,18
Azote uréique	0	0	0	0
Acide phosphorique total	0,61	0,64	0,80	0,75
Potasse soluble	0,64	0,68	0,72	0,65

Telles sont succinctement résumées nos expériences de traitement des gadoues par fermentation méthodique, expériences qui ont permis de mettre au point une technique nouvelle (*) et de concevoir un appareil plus rationnel et plus économique pour traiter les ordures ménagères (16).

(*) Actuellement utilisée dans cinq grandes villes méridionales.

2° *Les engrais verts.*

Le paysan a, à sa disposition, une deuxième source de matière organique, qui, dans les fermes de certains pays méridionaux, peut lui rendre de grands services : ce sont les *engrais verts*.

Les engrais verts sont des plantes cultivées dans le but d'être enfouies pour enrichir le sol en humus. D'autre part, ils peuvent jouer le rôle, dans certains cas, de fixation du sol contre l'érosion, ainsi que nous l'avons indiqué.

Parmi les plantes ainsi utilisées, je citerai : les vesces ; la lentille-ers, les féverolles, les pois, le lupin, le melilot, le lotier corniculé, le soja, la minette, les trèfles, le colza, les moutardes, le sarrasin, etc. On voit donc que les légumineuses dominent ; en terre calcaire légère, on choisira le trèfle incarnat et le trèfle blanc ; en terre plus forte, les vesces ; dans les sols non calcaires, le lupin. Enfin, le mélilot très rustique, est à recommander dans les terres calcaires salées ou humides (bons résultats obtenus dans la plaine de Beaucaire). L'emploi des légumineuses comme engrais verts était la base de la théorie de la sidération (*) de Georges VILLE (1850).

Les engrais verts constituent dans le plan d'assolement une véritable jachère cultivée « car ce n'est pas le repos qui rend à la « terre sa fécondité perdue, ce sont les plantes spontanées qui y « vivent, y meurent et s'y reproduisent procurant au sol, avec leurs « dépouilles, la matière organique qu'elles ont formée. » (BOUSSINGAULT).

Pratiquement donc, les engrais verts sont plus à leur place dans les « pays » de polyculture extensive aux sols secs et pauvres, dans les terrains accidentés où l'apport du fumier est difficile, que dans les terres de plaine de bonne fertilité. En dehors de la nature du sol, c'est le climat qui détermine l'efficacité de cette technique. Elle est meilleure dans le Midi où l'engrais vert se décompose rapidement en augmentant la capacité d'eau du sol.

Nous avons vu, en effet, qu'une des plus vieille rotation en Provence, est celle que l'on pratique encore parfois entre les vieux oliviers : blé la première année, puis fèves que l'on enfouit immédiatement après la récolte.

Les engrais verts, actuellement, sont semés en culture dérobée, durant l'été et on les enfouit à la floraison, au début du printemps suivant. La plupart du temps on ne peut utiliser le terrain immédiatement après, car le sol reste « creux » et on doit procéder à un roulage avant de labourer.

*Essais avec le maïs en vert (**).*

Nous avons entrepris depuis 1948 dans l'île de la Barthelasse, près d'Avignon (Domaine de M. MANGUIN, Ingénieur Agronome) des essais (encore en cours) d'engrais vert en utilisant le maïs four-

(*) De sidus, sidéris = l'astre. Le soleil provoque les transformations nécessaires.

(**) Note présentée avec M. HUGUET à l'Ac. d'Agr. le 15 février 1950.

rager. C'est une plante qui pousse rapidement sous le climat méridional, et possède un grand développement herbacé. Nous avons affaire dans ces essais à un sol jeune, gris sur alluvions rhodaniennes. Il présente la constitution agrologique suivante :

	de 0 à 30 cm.	de 30 à 40 cm.
Argile	5,5	18,2
Limon	27,1	46,2
Sables totaux	65	33,3
Sables fins	58	27
Sables grossiers	7	6,3
Calcaire total	25,5	36
Matières organiques	0,86	0,82

Le maïs a été semé à la dose de 120 kilos à l'hectare le 28 juin 1948, il atteignait le 20 août, 2 mètres de haut, ce qui représente une quantité de matière verte de 60 tonnes à l'hectare : développement herbacé important et par conséquent poids de matières sèches correspondantes assez élevé (5.160 kilos à l'hectare).

L'analyse chimique des plantes avant enfouissement nous fournit les indications suivantes (pour 1 kilo de plante verte soit 86 grammes de matière sèche).

N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1,8 gr.	0,430 gr.	0,774 gr.

Ce qui représente pour la récolte considérée de 60 tonnes à l'hectare :

N	P ₂ O ₅	K ₂ O
108 kg	25,8 kg	46,44 kg

En comparant ces résultats avec ceux donnant la composition d'un fumier de ferme, nous obtenons des résultats équivalents à ceux fournis par 10 tonnes de ce produit, mais avec un apport d'azote plus que doublé.

L'essai ayant été effectué dans une exploitation complètement mécanisée, l'enfouissement de toute cette matière verte a pu être fait grâce à l'emploi d'un pulvériseur à disques, qui sectionnant rapidement les plants, les a enfouis d'une façon parfaite — la décomposition dans le sol de ces jeunes plantes a été rapide ; au bout de six mois il n'y avait plus trace de tiges ni de feuilles de maïs.

• *Etude des sols un an après l'enfouissement.*

Nous avons étudié comparativement une parcelle de sol témoin, et une parcelle ayant reçu cet engrais vert.

Nous avons observé tout d'abord qu'une influence favorable a été apportée à la structure même du sol et de ce fait la capacité de rétention pour l'eau s'est trouvée accrue de 2 % environ.

Parcelle témoin Parcelle avec engrais vert

Eau %..... 14,4 16,5

et cela après une période de six mois de sécheresse.

L'analyse chimique du sol donne les indications suivantes après enfouissement du maïs, l'accroissement atteint 50 % de la matière organique initiale ; la quantité d'acide humique extrait a exactement doublé et le rapport C/N passe de ce fait à une valeur normale.

	Carbone (méthode Anne) %	Azote % / 10	Matière orga- nique totale %	Acide humique (Méthode Chami- nade) mgr.	Rapport C/N
Sol témoin.....	0,480	0,86	0,82	234	5,5
Sol avec engrais vert en surface	0,744	0,96	1,27	489	7,7
Sol avec engrais vert de 0 à 30 cm	0,960	1,02	1,65	484	9,4
30 à 40 cm	0,600	1,10	1,03	326	5,4

Il est à noter aussi que la destruction du carbone est beaucoup plus rapide en surface qu'en profondeur.

Etude agronomique. — Ces sols étaient destinés à une plantation de pieds-mères de vigne : chasselas X Berlandiéri 41 B. Nous avons suivi le développement des plants dans les deux parcelles précédentes et au bout d'un an la parcelle avec engrais vert présentait déjà une végétation plus abondante avec des rameaux plus longs (en moyenne 25 % de plus d'allongement). L'analyse des feuilles du deuxième nœud à partir du bas du sarment nous a fourni les résultats suivants :

Sans engrais vert		Avec engrais vert	
N %	0,70 %		0,80 %
P ₂ O ₅	0,22 %		0,23 %

*
* *

2° ÉVOLUTION DE L'URÉE DANS LE SOL

L'utilisation de l'urée date de la guerre de 1914-18. Sa richesse en azote (46 % environ) permet une économie de transport et de main-d'œuvre appréciable. En Allemagne, son usage en Agriculture était assez répandu.

Si l'on passe en revue les différentes expériences faites durant ces dernières années par les Stations Agronomiques françaises et

étrangères sur l'emploi comparé des divers engrais azotés, on constate que les résultats obtenus avec l'urée sont très variables. Tantôt cet engrais donne des rendements semblables à ceux que l'on obtient avec les engrais ammoniacaux et nitriques, tantôt l'urée se classe au dernier rang donnant un supplément de récolte insignifiant par rapport au témoin sans azote.

Il nous a paru intéressant de rechercher quels étaient les facteurs qui provoquaient ces résultats contradictoires.

a) *Expérimentation.* — La transformation de l'urée en carbonate d'ammoniaque se fait suivant la réaction connue :



et est due (dans certains cas tout au moins) à l'action diastasique de l'uréase sécrétée par de nombreux microbes très répandus dans le sol, le fumier, le purin, les eaux, etc., et appartenant principalement aux groupes des Cocus et des Sarcines ; le plus anciennement connu est le *Micrococcus uræ* de VAN TIEGHEM.

Utilisant ces données, nous avons pensé que cette action hydrolisante devait être plus ou moins gênée dans les sols considérés plus haut. Des essais furent entrepris dans lesquels certaines parcelles recevaient, soit du fumier frais à dose très faible, soit un arrosage avec une solution diluée d'uréase du soja (*) préparée suivant la technique indiquée par Gabriel BERTRAND (II).

Essai sur pomme de terre « Royal Kidney ». — Les parcelles ont un are de superficie et sont séparées par des parcelles-tampon égales. La plantation est effectuée le 20 février 1928, la récolte a lieu le 8 mai 1928.

Fumures	Parcelle	Poids des tubercules
—	—	—
Témoin sans azote	{ 1 58 kg	
	{ 2 56 — — moyenne 57 ± 1	
Urée plus fumier.....	{ 1 96 —	
	{ 2 93 — — moyenne 94,5 ± 1,5	
Urée plus	{ 1 92 —	
Urée soja	{ 2 94 — — moyenne 93 ± 1	
Urée seule.....	{ 1 74 —	
	{ 2 76 — — moyenne 75 ± 1	

(*) Le *Soja hispida* est une légumineuse originaire d'Extrême-Orient (Mandchourie). Les graines dont nous nous sommes servi proviennent d'une des huit variétés que nous avons acclimatées au Midi de la France et qui sont issues de plantes ayant poussé sous le climat de Rouen (expériences de M. BRIOUX).

Essai sur aubergines. — Il a été effectué dans les mêmes conditions que le précédent.

Fumure	Poids des fruits
Témoin sans azote	Moyenne : 85,800 $\pm$ 1,8
Urée plus fumier.....	— 97,200 $\pm$ 1,0
Urée seule.....	— 89,200 $\pm$ 0,9

Le fumier employé était du fumier de cheval pas trop fait et encore imbibé de purin. Il a été mélangé à l'urée à la dose de 2 kilos environ pour 50 mètres carrés et pour 1 kilog d'urée.

La solution d'uréase du soja a été répandue directement sur l'urée par simple arrosage.

Il semble résulter de ces expériences que l'addition de ferments apportés par le fumier ou l'uréase de soja hispida est nécessaire pour obtenir avec l'urée un rendement élevé.

b) *Facteurs intervenant dans l'action de l'urée sur les sols.*

Nous avons successivement étudié au laboratoire les facteurs suivants et nous donnons ici, sans entrer dans le détail, les résultats de nos recherches :

1° *Action des ferments de l'urine sur la transformation de l'urée :*

L'apport de ferments de l'urée, sous forme d'urine fermentée, a notablement augmenté la formation d'ammoniaque par rapport au témoin urée seule. D'autre part, on a tenu compte dans tous les essais de l'action propre de la terre, de l'urée, des ferments étrangers et indigènes ; on peut donc énoncer les remarques suivantes :

— Dans le sol considéré, la transformation de l'urée est une action microbienne (dans le cas présent, la réaction du sol, qui est fortement alcaline, n'a qu'un effet insignifiant).

— Les microbes présents dans le sol sont insuffisamment actifs pour assurer une hydrolyse rapide et complète de l'urée.

Ces essais viennent donc confirmer les résultats obtenus et signalés plus haut en pratique agricole.

2° *Action du temps sur les ferments actifs introduits dans le sol :*

On constate qu'après un temps assez court les ferments introduits s'affaiblissent notablement. Au point de vue pratique, cela indique qu'il faut mettre une petite quantité de fumier *en même temps* que l'urée, comme il a été procédé lors des expériences en parcelles au champ d'expériences de la Station Agronomique d'Avignon.

3° *Influence de la dose de calcaire :*

L'action du calcaire est très légèrement favorisante. Une deuxième série d'essais fut entreprise pour savoir si, dans des *terres naturelles* dosant respectivement 3, 12, 40 et 80 % de calcaire, ce dernier avait une influence sur l'hydrolyse de l'urée. Les résultats

très nets de ces essais prouvent que le calcaire ne gêne nullement la transformation de l'urée.

4° *Solubilisation de la matière organique des sols par addition d'urée et de solution 1/10° d'urée fermentée :*

L'apport de ferments à donné, dans nos recherches (témoin urée, urée + ferments, carbonate d'ammoniaque) une solubilité de la matière organique plus forte que dans l'essai témoin. Le meilleur résultat est obtenu avec le mélange urée + ferments.

5° *Action de la température sur la transformation de l'urée en carbonate d'ammoniaque dans le sol :*

Après vingt-cinq jours, on constate un affaiblissement considérable de l'hydrolyse d'un lot à 10° - 13°, par rapport à celui de 18°-20°. De plus la rapidité de la transformation de l'urée en carbonate d'ammoniaque est en rapport avec la richesse du sol en matières organiques.

6° *Action de l'urée sur les composés nitreux et nitriques du sol :*

Il résulte de nos essais, et de l'établissement du bilan de l'azote dans la transformation de l'urée (dosages de l'azote sous toutes ses formes) que cette évolution doit être rapide pour éviter une perte d'azote résultant de coexistence des formes d'azote uréique, nitreuse et nitrique.

Tous ces faits observés par nous, tant au laboratoire qu'au champ d'expériences, peuvent expliquer les comportements différents de l'urée suivant les climats et les sols. D'autre part, toutes ces recherches sur l'hydrolyse de l'urée nous ont servi de point de départ à nos travaux sur la fabrication du fumier artificiel à base des ferments uréiques et dont nous venons de parler.

* * *

3° **CONSIDÉRATIONS SUR LA FERTILISATION DES CULTURES MARAÎCHÈRES MÉRIDIIONALES**

a) *Détermination des besoins minéraux nécessaires dans la culture maraîchère (Azote).*

Nos recherches ont porté spécialement sur les exportations totales en azote d'un certain nombre de cultures maraîchères. Nous indiquons simplement ci-après, en kilo d'azote pur par hectare, les chiffres moyens et extrêmes que nous avons obtenus, à Avignon, dans un sol limoneux d'alluvions silico-calcaires, recevant des doses élevées d'engrais azotés (100 à 300 kilos d'azote par hectare) et soumis à l'irrigation de mars à octobre.

	Moyenne	Maximum	Récolte Maximum par hectare
Aubergines violettes de Barbentane	300 kg	520 kg	55 T. de fruits
Choux-fleurs d'automne.....	300 kg	450 kg	72 —
Pommes de terre primeurs type « Esterlingen ».....	80 kg	100 kg	18 T. tubercules
Pommes de terre demi-saison type « Triomphe de Juin »....	120 kg	200 kg	35 —
Pommes de terre à grand rendement type « Beauvais »	200 kg	350 kg	65 —
Tomates pour la conserve.....	125 kg	150 kg	52 —

Ces chiffres indiquent l'importance des exportations et surtout de leur irrégularité suivant que la culture est réussie ou non. Dans certains cas, après défrichement de prairies les cultures maraîchères donnent des rendements extraordinaires (exemple, 100 à 120 tonnes d'aubergines), mais ils ne se maintiennent pas longtemps (modification dynamique du milieu).

Si l'on considère qu'un assolement *annuel* courant en Provence est pommes de terre primeurs ou demi-saison et choux-fleurs d'automne, on voit à quelles exportations élevées d'azote donne lieu une telle culture (en moyenne, 400 kilos par hectare et par an).

Dans les conditions ci-dessus énumérées, on conçoit que le rôle nutritif direct du sol est relativement peu important. Nos sols sont de bonnes terres à blé ou à prairies et non des sols *maraîchers* au sens original du mot (terres de marais, riches en matières organiques).

Le maraîcher demande au sol d'être un bon support physique un excellent transformateur des fumures et de se prêter à l'irrigation ; quant à la nutrition des plantes, il y pourvoit par des apports considérables d'engrais de toutes sortes : engrais organiques, tourteaux (origine Marseille), sang desséché, déchets de viande, de laine, etc., traités à l'acide sulfurique, engrais chimiques, nitrates, sulfate d'ammoniaque, cyanamide, engrais phosphatés, potassiques et, comme amendements organiques : terreaux de gadoues, fumier de ferme, etc.

On apporte couramment par hectare et par an pour deux cultures les doses suivantes :

400 à 500 kilos d'azote des tourteaux (6.000 kilos).

800 kilos de potasse du sulfate.

400 kilos d'acide phosphorique du super.

400 kilos d'azote de la cyanamide, du sulfate d'ammoniaque ou du nitrate de soude ou de chaux.

Ces derniers engrais azotés sont mis en couverture.

Le rapport des éléments N, P₂O₅, K₂O est le suivant : 1, 0,45, 0,9.

La nature chimique du sol ne joue donc pas un rôle prédominant dans la détermination des fumures ; le producteur doit tenir compte avant tout des propriétés physiques pour le choix de ses cultures et s'efforcera, dans tous les cas, de tenir compte de la résultante du dynamisme entre les exportations des éléments fertilisants et les fumures qui les comportent.

b) *Influence de la fertilisation sur la qualité des récoltes et la résistance aux maladies.*

Des observations poursuivies pendant quatre années nous ont montré l'influence du sulfate de potasse (1.000 kilos par hectare) sur la résistance des choux-fleurs à l'humidité (pluies torrentielles d'automne) et particulièrement sur la beauté de la pomme : *couleur très blanche et grain serré.*

Nous faisons remarquer que l'on emploie du sulfate de potassium et non du chlorure de potassium, ce dernier donnant des résultats bien inférieurs en culture maraîchère. L'emploi du chlorure de potassium peut, en effet, contribuer à aggraver l'insuffisance du soufre (antagonisme entre les ions Cl et SO₄). L'élément azoté est donné sous forme de sulfate d'ammoniaque et l'acide phosphorique sous forme de superphosphate.

Des essais comparatifs effectués avec la cyanamide et le sulfate d'ammoniaque nous ont permis de mettre en évidence les effets du premier engrais sur les attaques de certains insectes : *Ceutorrhynchus* du chou et taupins.

c) *Rendement économique de l'engrais minéral.*

En ce qui concerne les engrais azotés, leur emploi conditionne le rendement et provoque des excédents allant de 10 à 80 % suivant les cultures. Les pommes de terre, choux-fleurs et aubergines sont les plus sensibles à la fertilisation azotée. Toutefois, en ce qui concerne la tomate et le melon, on constate une diminution de la précocité par coulure des premières fleurs si les apports d'azote sont exagérés.

Les engrais phosphatés et potassiques ne jouent pas un rôle aussi évident que l'azote, mais ils sont également indispensables pour permettre les hauts rendements et la qualité (précocité, apparence commerciale, résistance aux transports, etc.).

D'une manière générale, nous estimons que les engrais chimiques apportés en quantité, même élevée, provoquent un accroissement de revenu brut de l'ordre de trois à dix fois leur prix. Il ne nous est pas permis d'être plus précis, les considérations climatiques et économiques intervenant dans les résultats d'une manière très irrégulière.

Ces notions de fertilisation de base permettront à l'agriculteur méridional d'obtenir de ses terres cette *fertilité acquise* qu'il doit s'efforcer de maintenir par des soins d'entretien suffisamment prolongés de ses cultures.

Il ne doit pas oublier notamment qu'un travail très soigné de son sol peut fortement contribuer à une mise à profit du capital disponible en substances nutritives.

TROISIÈME PARTIE

Dans une troisième partie de notre mémoire nous avons donné quelques applications de l'étude des facteurs du milieu naturel dans la recherche de l'adaptation des cultures dans le Bas-Rhône.

Les exemples présentés étant publiés d'autre part, nous demanderons au lecteur de bien vouloir se reporter à ces rapports.

I. — *Délimitation des crus viticoles rhodaniens et provençaux. Principes directeurs.*

(Voir les Appellations d'origine et les sciences naturelles. *Bul. soc. d'études des sc. natur. de Vaucluse* Nos 3 et 4, 1944, Avignon).

II. — *Le problème de l'adaptation de la Lavande.*

(Voir le dépérissement de la lavande. *Ann. des Epiphyties*, Paris 1932).

III. — *L'acclimatation du Soja.*

(Voir le Soja et son rôle alimentaire. Paris 1937, Hermann édit).

IV. — *L'importance du Milieu naturel sur la maturation des tomates de conserve.*

(Voir rapport des Stations Agronomiques. *Annales Agron.* 1936).

V. — *L'évolution de la riziculture dans le Bas-Rhône.*

(Voir Problèmes posés par la Riziculture Fasc. Imp. Rulhière, Avignon 1950.) et C. R. Journées du Riz à Arles (9-10 nov. 1950).

Région du Bas-Rhône

BERCEAUX

D'ORIGINE

D'ADAPTATION

de l'Abricotier

du Cerisier

du Pêcher



-Sols rendziniiformes d'éboulis calcaires assez épais et sols squelettiques sur roche mère, meubles & profonds (mère & molasse).

-Sols alluviaux & colluviaux assez profonds et pas trop secs.

-Sols gris jeunes des vallées à nappe phréatique peu profonde.

DIOIS

DRÔME

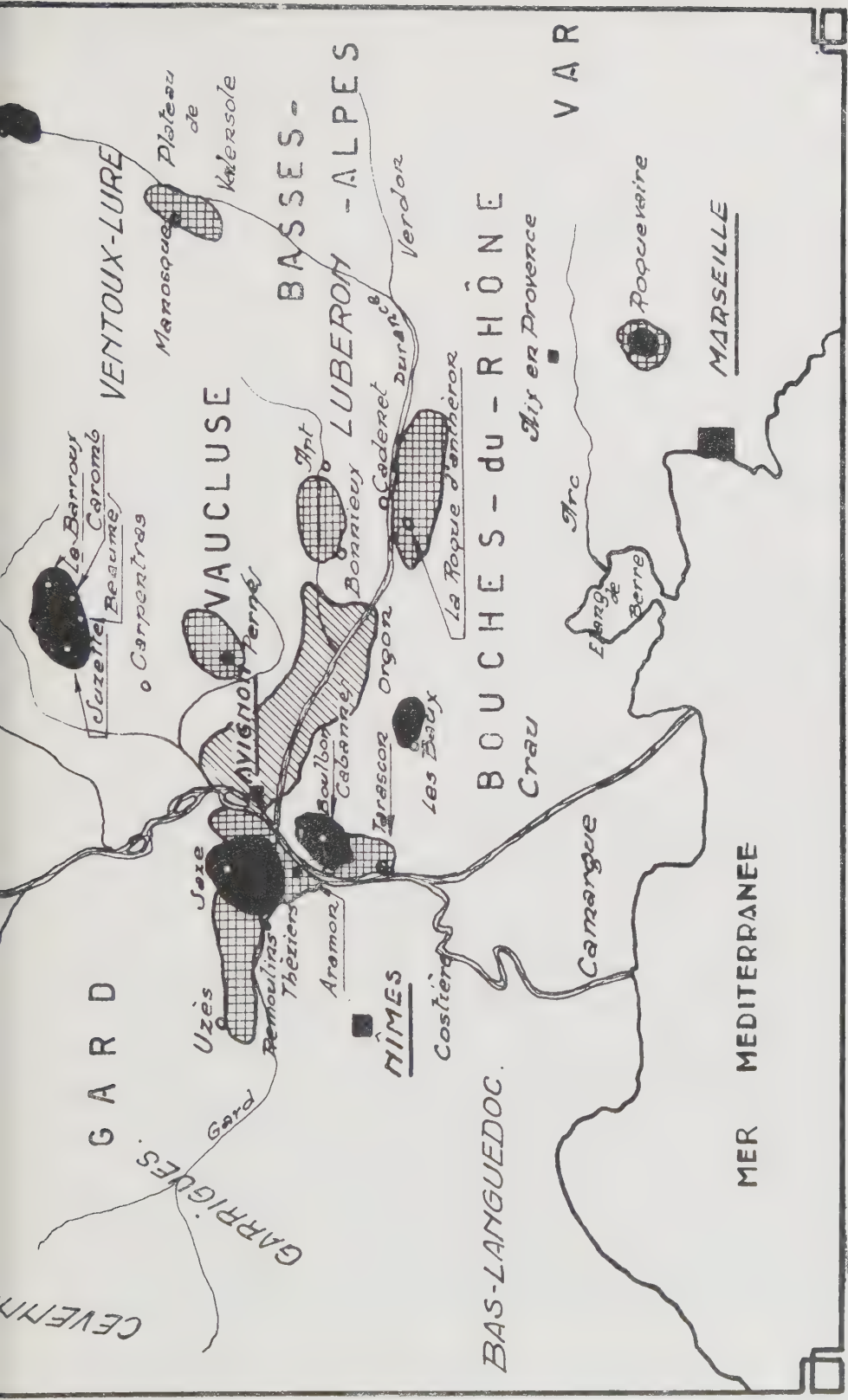


BAS-VIVARAIS

ARDECHE

NYONNAIS ^{Baronnies}

TRICASTIN



GARD

GARRIÈRES

Gard

Uzès

Remoulins
Thèze

Aramon

Bouillon
Cabanac

NÎMES

Costières

Les Baux

Orgon

Apt

Bonnieux

Caderet

Verdor

VAUCLUSE

BASSES-

LUBERON -ALPES

Manosque

Plateau
de
Kiersole

BAS-LANGUEDOC

BOUCHES-DU-RHÔNE

Crau

Mix en Provence

Arc

Camargue

La Roque de
Berne

Roquevaire

MARSEILLE

MER MEDITERRANEE

VAR

CONCLUSION

Ce titre est évidemment prématuré puisque notre travail n'est qu'une modeste contribution à l'étude des facteurs de la production agricole de la région du Bas-Rhône.

Nous avons voulu surtout montrer que l'étude du milieu naturel permet de bien examiner la question de l'adaptation des cultures par « pays », par terroir, et que ce travail constitue la base de l'organisation de la production agricole d'une région.

Il s'agit, en l'occurrence, de spécialisations partielles qui ne tendent nullement vers la monoculture et qui n'excluent aucunement ni la polyculture, ni l'économie sylvo-culturale. Elle comporte un ensemble de cultures bien à leur place mais susceptibles toutefois de variations selon les conditions économiques. Un tel système fait preuve aujourd'hui d'une certaine souplesse grâce à l'emploi du froid et à l'utilisation des transports rapides.

— Bien des problèmes restent encore en suspens dans cette étude de la production agricole du Bas-Rhône.

En effet, la connaissance du milieu naturel et des facteurs de base réglant l'évolution et la répartition des cultures, ne peut être acquise, qu'après avoir fréquemment parcouru la région étudiée, en observant avec perspicacité, en comparant les faits, en les contrôlant et en sachant les critiquer parfois. En Agronomie, on fait de la recherche avec des idées et des méthodes.

— Si au cours de ces vingt-cinq dernières années, nous avons rassemblé toutes ces observations et recherches pouvant paraître à première vue, assez éloignées les unes des autres, mais qui, somme toute, s'intègrent dans le cadre de cette thèse, nous l'avons fait, non pas d'une façon passive, car chacune d'elles a pour nous une signification, une vérité. En effet, cette étude a été entreprise d'une part en suivant les méthodes rajeunies de l'Agronomie, rapprochées de l'expérience acquise en Agriculture et d'autre part, en ne perdant pas de vue l'aspect économique du problème.

Enfin, un travail méthodiquement organisé et exécuté en collaboration avec des géologues, des phytogéographes, des chimistes (*)

(*) Nous tenons à remercier en terminant ce travail, tout particulièrement MM. GOUVERNET, KUHNHOLTZ-LORDAT, MARCELIN et MATHIEU. J'adresse également mes remerciements à M. CHARGROS qui m'a aidé dans toute la partie cartographique de ce travail.

(en particulier en Pédologie), nous a permis de dégager des vues d'ensemble, des lois générales et de formuler des hypothèses.

La généralisation, la synthèse que nous avons pu faire dans certains cas, représente moins un travail de condensation en utilisant des faits isolés, recueillis et notés, qu'une certaine force de pensée, une capacité de pénétration dans l'intelligence des phénomènes que l'on devine significatifs après des contrôles et des comparaisons.

Les recherches agronomiques exigent de plus en plus un travail en équipe de plusieurs chercheurs.

Pour un problème donné, il est nécessaire de faire la synthèse des études effectuées dans les différents laboratoires qui doivent toujours travailler en liaison étroite.

Une spécialisation excessive et trop étroite est génératrice d'efficacité certes, mais non de lumière.

C'est donc dans une commune intelligibilité des diverses disciplines que la Science Agronomique pourra affirmer la valeur pratique des méthodes scientifiques et substituer, aux routines traditionnelles, des techniques nouvelles sanctionnées par l'expérimentation.

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ ;

STRUCTURE GÉOLOGIQUE DE LA RÉGION D'AVIGNON

Vu et approuvé :

Marseille, le 4 mai 1950

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

P. CHOUX.

Vu et permis d'imprimer :

Aix-en-Provence, le 9 mai 1950

Le Recteur de l'Académie d'Aix-Marseille

J. BLACHE.

BIBLIOGRAPHIE

1. — AGAFONOFF. — *Les sols bruns et rouges à croûte carbonatée en Tunisie.* — R. R. Acad. des Sc., t. CCII, 1936. 11 mai. pp. 1597/1599.
2. — AGAFONOFF. — *Les sols rouges méditerranéens de France et leurs roches-mères.* — C. R. Acad. des Sc. 1933. 197, N° 14.
3. — ARRIGHI DE CASANOVA. — *La culture du riz en Camargue.* — Génie Rural, N° 4. Avril 1949.
4. — AUBERT. — *Les sols de la France d'Outre-Mer.* — Monogr. Minist. Agricult. 1941. Paris.
5. — AUBERT. — *Relation entre la Pédologie et la Géographie Botanique.* — Bull. Assoc. Franç. Etude du sol, N° 2, 1937.
6. — AUBERT. — *Les sols à croûtes calcaires.* — C. R. Confér. Pédologie Méditerr. 1947, p. 330. Berger-Levrault, Edit.
7. — BARBIER et BOISCHOT. — *La tourbe a-t-elle une valeur fertilisante?* C. R. Acad. Agricult. N° 18, 1943, p. 501.
8. — BAULIG. — *A propos des surfaces d'aplanissement de la région du Bas-Rhône.* — Ann. de Géogr. XLIII, N° 246. 15 nov. 1934, pp. 636/640.
9. — BAULIG. — *Sur les derniers mouvements du sol dans la basse vallée du Rhône.* — Et. Rhodaniennes, XI, 1935, N° 1, pp. 87/89.
10. — BENEVENT. — *Le régime des vents en Provence dans ses rapports avec les positions du minimum barométrique ligurien.* — Rev. Géogr. Alpine, XI, 1923, pp. 242/260.
11. — Gabriel BERTRAND et THOMAS. — *Guide pour les manipulations de chimie biologique.* — Dunod et Pinat. Edit.
12. — BLANCHARD. — *La limite septentrionale de l'olivier dans les Alpes françaises.* — La Géographie, XXII, 1919, pp. 225/243 et pp. 301/324.
13. — BLANCK. — *Handbuch der bodenlehre.* — Vol. III, 1930, pp. 194 à 247. Springer Edit. Berlin.
14. — BŒUF. — *Objectif de la recherche agronomique.* — Méthodes d'expérimentation. — Paris, 1948. Baillière, Edit.
15. — BOISCHOT et DROUINEAU. — *Sur la présence et la constitution de concrétions ferrugineuses dans un sol méditerranéen.* — Bull. Assoc. Franç. Etude du Sol, t. III, N° 4, 1937.
16. — BORDAS. — *Le traitement des ordures ménagères par fermentation en vase clos.* — Académie des Sciences. Prix Bellion, 1930.
17. — BORDAS. — *Le problème de la conservation des sols.* — Bull. Soc. Etude des Soc. Natur. de Vaucluse. Avignon 1944.
18. — BORDAS. — *Le soja et son rôle alimentaire.* — Collection des Actualités scient., N° 557. Paris 1937. Hermann, Edit.

19. — BORDAS. — *L'importance de l'indice d'aridité dans la délimitation des grands crus viticoles de France.* — Bull. Soc. Etude des Sc. Natur. de Vaucluse, N° 1 et 2, 1943.
20. — BORDAS. — *Orientation actuelle de la Pédologie.* — Bull. spécial. Assoc. Franç. Etude des sols. Avignon, 1943. Martin, Edit.
21. — BORDAS. — *Les couches artificielles et le forçage des asperges.* — Ann. Agronom. Sept.-oct. 1932 et vol. B. c. 2, 6^e Commiss. Assoc. Internat. Science du Sol. Zurich, 1937.
22. — BORDAS et LIDOYNE. — *Relation entre la teneur en humus et l'assimilabilité de l'acide ph sphorique dans les sols du Bas-Rhône.* — C. R. Acad. Agricult. 28 déc. 1943.
23. — BORDAS, JOESSEL et MATHIEU. — *Sols d'érosion sur marnes plaisanciennes.* — Ann. Agronom., 1938, t. VIII, p. 44.
24. — BORDAS, JOESSEL et ANRES. — *Le dépérissement de la lavande.* — Ann. des Epiphyties, 1932.
25. — BORDAS et MATHIEU. — *La force de succion et l'irrigation souterraine.* — Ann. Agronom., N° 2, 1930.
26. — BORDAS et MATHIEU. — *Essai de pédologie méditerranéenne.* — Monographie du Minist. de l'Agricult. Imprim. Nationale. Paris 1943.
27. — BORDAS et Mme HUGUET. — *Utilisation des engrais verts en sol calcaire.* — C. R. Acad. Agricult., 15 févr. 1950.
28. — BORDAS et GOUVERNET. — *Les sols bruns des Maures.* — Ann. Agr. 1^{er} trim. 1947.
29. — BORDAS, JOESSEL, MATHIEU et ANRES. — *Observations générales sur le climat d'Avignon.* — C. R. Acad. Agricult. Paris 1938, pp. 405/408.
30. — BOURDIER. — *Les dépôts quaternaires et le problème des lèss dans la vallée de la Durance méridionale.* — C. R. Acad. des Sc., 11 mars 1940, t. CCX, pp. 405/408.
31. — BRAJNIKOV. — *Recherches sur la formation appelée, argile à silex, dans le bassin de Paris.* — Rev. de Géogr. phys. et géol., 1937, vol. X, fasc. 1 et 2.
32. — BRAUN-BLANQUET. — *La forêt d'yeuse languedocienne.* — Inst. inter. géographie botan. et alpine, N° 40, 1936.
33. — CAYEUX. — *Les roches sédimentaires de France.* — Paris, 1935. Masson, Edit.
34. — CERIGHELLI. — *Germination des graines de soja.* — C. R. Acad. d'Agricult., N° 10, 5 juin 1946.
35. — CERIGHELLI. — *La fertilité des pays tropicaux et le rendement des rizières.* — Les Cahiers Coloniaux, N° 6 et 7. Juin et juillet 1948.
36. — CERIGHELLI et GAND. — *Recherches sur les sols d'alluvions de la Camargue. — Composition physique et évolution.* — Ann. Facul. des Sc. de Marseille. Série II, t. XIV, fasc. III, 1944, pp. 107/129.
37. — CHAMINADE. — *Sur l'existence, dans les sols, de complexes phospho-humiques.* — C. R. Acad. d'Agricult., N° 9, 1943.
38. — CHAPTAL. — *Le climat pédologique.* — Bull. Assoc. Franç. Etude du Sol, 1936, fasc. 2, N° 3, p. 192.
39. — CHAPTAL. — *Les sources secondaires de l'humidité de la terre arable.* — C. R. 1^{re} Commiss. de l'Assoc. Intern. de la Science du Sol. Versailles 1934.
40. — CHAPTAL. — *Un essai de protection contre l'érosion du sol d'une plantation d'oliviers.* — C. R. Acad. Agricult., N° 13, 1942, pp. 497/499.
41. — CHEVALIER. — *Révolution en Agriculture.* — Paris 1946. Presses Universit. de France, p. 168.

42. — COMEL. — *La Terra-Rossa du Carso est-elle un sol climatique?* — Ann. Inter. Sc. du Sol., vol. II, 1932, pp. 277/287.
43. — CORROY et DENIZOT. — *La Provence occidentale.* — Collect. des Actual. scient. Paris 1943. Hermann, Edit.
44. — CVIJIC. — *Hydrographie souterraine et évolution morphologique du karst.* — Recueil des Trav. Inst. Géogr. Médit. et Alpine, t. VI, 1918, fasc. 4.
45. — DEMOLON et BURGEVIN. — *Expériences sur le fumier artificiel.* — Ann. Agron. 1929, t. IX.
46. — DEMOLON. — *L'évolution scientifique et l'agriculture française.* — Paris 1946, p. 6. Flammarion, Edit.
47. — DEMOLON. — *Sur les matières argileuses des terrains quaternaires.* — C. R. Acad. des Sc. 1925, p. 181.
48. — DEMOLON. — *Le climat du sol.* — Ann. Agronom., 1937, pp. 635/640.
49. — DEMOLON. — *La dynamique du sol.* — 348 p., Paris 1932. Dunod, Edit.
50. — DEMOLON et DUNEZ. — *Rôle du bactériophage dans la fatigue des luzernières.* — C. R. Acad. des Sc., t. CLXXXVII, 1933, p. 1144. Série T. 199, 1934, p. 1257.
51. — DEMOLON et BASTISSE. — *Sur quelques complexes colloïdaux du fer et de l'aluminium.* — Ann. Agronom., 1938, t. VIII, p. 6.
52. — DENIZOT. — *Le problème des terrasses rhodaniennes.* — Les Etudes Rhodaniennes, 1939.
53. — DENIZOT. — *La Crau, la Camargue et l'étang de Berre.* — Ann. Facul. de Marseille, 1938, t. XI, fasc. I, p.p. 1 à 159.
- 53 bis. — DENIZOT. — *Nouvelles observations sur la Crau.* — C. R. Somm. des Séances de la Soc. Géolog. de France, 1938, pp. 312/313.
54. — DEPERRET. — *Aperçu sur la structure générale et l'histoire de la formation de la vallée du Rhône.* — Ann. de Géogr., t. IV, 1893, pp. 432/452.
55. — DIENEMANN et BURE. — *Les roches utiles à l'Allemagne.* — Stuttgart, 1929.
56. — DISERENS. — *Les moyens permettant de déterminer le mode d'action des travaux d'assainissement.* — Transact. du 3^e Congrès Intern. de la Sc. du Sol. Oxford, 1935, vol. III, pp. 45/69.
57. — DUCET, GUERILLOT et GUYOT. — *Le diagnostic phyto-iono-calcimétrique des sols.* — Ann. Ecole Nat. Agric., Grignon, 1914, p. 332/115.
58. — DUMONT. — *Le problème agricole français.* Les Editions Nouvelles. Paris, 1946.
59. — DUMONT. — *La culture du riz dans le delta du Tonkin.* — Soc. Edit. Géograph. Marit. et Colon., 1935.
60. — DURAND (J.-F.). — *Origines des ocre albiennes de la région d'Apt.* — C. R. Acad. des Sc. et Soc. Géolog. de France, 1924, pp. 63/64.
61. — EBLE. — *Sur la température du sol.* — Ann. Agric., N° 5, 1936, p. 659.
62. — EMBERGER. — *Projet d'une classification des climats au point de vue phytogéographique.* — Bull. Soc. Hist. Natur. de Toulouse, t. LXXVII, 1942, pp. 97/124.
63. — ERHART. — *Traité de Pédologie.* — T. I, 1935. Institut. Pédolog. Strasbourg.
64. — ERHART. — *La Pédologie, science du sol.* — Ann. Institut. Techn. du Bâtiment et des Travaux Publics. Janv.-févr. 1940.
65. — F.A.O. — *Conservation du sol. Etude internationale. Etude agricole de la F.A.O., N° 4, traduit de l'Anglais.* — Organisation des Nations Unies

- pour l'Alimentation et l'Agriculture. — Washington. Rome. Déc. 1948, 220 pp.
66. — FLAHAUT et DURAND. — *La limite de la région méditerranéenne*. — Bull. Soc. Bot. de France. XXXIII, 1886.
67. — GALDIERI. — *L'origine de la Terra-Rossa*. — Ann. R. Scuola d'Agr., Portici 1913.
68. — GAROLA. — *Plantes fourragères*. — Encyclop. Agric. Baillière. Edit. Paris.
69. — GAUSSEN. — *Géographie des plantes*. — Paris, 1933. Collin, Edit.
70. — GAZAUD. — *Contribution à l'étude du Mistral*. — C. R. Acad. des Sc., 27 juill. 1914, pp. 335/337.
71. — GENTIL. — *Nouvelles observations sur les « tirs » de la Chaouia (Maroc)*. — Bull. Soc. Géolog. de France. 4^e Série, t. IX, 1909, pp. 226/227.
72. — GEORGES. — *La région du Bas-Rhône*. — Thèse de Doctorat. Paris 1935. Baillière, Edit., 691 p., 103 fig., 27 planches, 4 cartes.
73. — GESLIN. — *La caractérisation des climats locaux*. — C. R. de la Confér. de Pédologie Méditerr. Alger-Montpellier, 1-20 mai 1947. Berger-Levrault, Edit. — Assoc. Franç. Etude du Sol. Berger-Levrault, Edit.
74. — GEZE. — *Le Congrès International de Pédologie Méditerranéenne. Notes et Réflexions*. — Ann. Ecole Nat. d'Agric. Montpellier, fasc. 4, t. XXVII, 1947.
75. — GIGNOUX. — *Géologie stratigraphique*. — Paris 1926. Masson, Edit.
76. — GIRARD. — *Contribution à l'histoire de l'Agriculture du Comtat-Venaissin*. — Bull. Soc. Etude Sc. Natur. de Vaucluse. Avignon 1940.
77. — GOGUEL. — *Sur l'extension des faciès urgoniens dans les Monts de Vaucluse*. — Bull. Soc. Géolog. de France, 5^e Série, 2, 1932.
78. — GORRICHON. — *L'équipement rural en Vaucluse*. — Thèse, 1940. Mistral, Edit., Cavaillon.
79. — GRAS. — *Description géologique de Vaucluse*. — Savry, Edit., Paris 1862.
80. — GRUND. — *Le cycle géographique du Karst*. — Soc. Géogr., pp. 621/640. Berlin 1914.
81. — HARRASOWITZ. — *Terre rouge sud-européenne*. — Chemie der Erde, 4, 1930.
82. — HAUG. — *Traité de Géologie*. — 3 vol. Paris 1920. Colin, Edit.
83. — HUPPEL. — *Economie Forestière*, 2 tomes.
84. — HENIN. — *La formation des argiles et la pédologie*. — C. R. Confér. Intern. de Pédologie Méditerr. 1947, p. 107. Berger-Levrault, Edit.
85. — HENIN et GODARD. — *Relation entre l'évaporation, la température et l'indice d'aridité*. — C. R. Acad. des Sc., 17 nov. 1944.
86. — HILGARD. — *Soils*. New-York, 1906.
87. — HOLLSTEIN. — *Contribution à la science du sol des pays méditerranéens*. — Assoc. Intern. Science du Sol. Recherche sur le sol. N° 2, 1938.
88. — JOFFE. — *Pédology*. — New-Brunswick, Rutgers. Univ. Press. 1936, in-8°, 575 p.
89. — KORNEFF. — *La capacité d'absorption du sol. Appareil pour la mesure. Arrosage automatique*. — Ann. Sc. Agric., 1926, p. 353.
90. — KRAMER. — *Sur le mode de formation de la Terra-Rossa du Karst*. — Comm. du Musée de la Carmole, N° 12, 1899, p. 150.

91. — KUHNHOLTZ-LORDAT. — *Reconstitution de l'ambiance perdue de la sylvie méditerranéenne*. — Ann. Ecole Nat. Agr. de Montpellier, 1936, fasc. 11, sept., pp. 103/112.
92. — KUHNHOLTZ-LORDAT. — *La Silva, l'Ager et le Saltus de Garrigue*. — Ann. Ecole Nat. Agr. de Montpellier, fasc. 5.
93. — KUHNHOLTZ-LORDAT, JOUBERT et MARCELIN. — *L'enseignement de la forêt de la Valbonne (Gard)*. — Ann. Ecole Nat. Agr. Montpellier, 1931, p. 62.
94. — A. de LAPPARENT. — *Traité de Géologie*. — Paris. Masson, Edit.
95. — J. de LAPPARENT. — *Traité de Pétrographie*. — Paris 1923. Masson, Edit.
96. — LEININGEN. — *Genèse et propriété de la Terre Rouge*. — Comm. Intern. de Pédologie, N° 17, 1917, p. 39.
97. — LE ROY, KUHNHOLTZ-LORDAT et MATHIEU. — *Châteauneuf-du-Pape*. — Ann. Agr., 1930.
98. — MARCELIN. — *Observations sur les terres et sols en régions méditerranéennes*. — I. Terres et sols en Costière, p. 20, Nîmes, 1947. Imprim. Chastagnier Fr. et Alméras.
99. — MARCELIN. — *Les tremblements de terre dans le Gard*. — Bull. Soc. Etude Sc. nat. Nîmes, t. XLIII, 1923, p. 26.
100. — MARCELIN. — *Terres et sol rouges des régions calcaires du Gard et du Vaucluse*. — Bull. Soc. Etude Sc. Nat. de Vaucluse, 1941, Avignon.
101. — MARCELIN. — *Contribution à l'étude géographique de la garrigue nîmoise*. Et. Rhodaniennes, Lyon, fasc. 1, 1926, pp. 35/176.
102. — MARCELIN et COURRIERE. — *Note sur la présence du lœss en Costière et sur trois sols observés à la Valbonne*. — Bull. Soc. Nat. de Nîmes, 1928, pp. 141/148.
103. — MARCELIN et de JOLY. — *Exploration de quelques avens de l'Urgonien du Gard*. — C. R. Assoc. Franç. Avanc. des Sc., 1928.
104. — MARTEL. — *Nouveau traité des eaux souterraines*. — Paris, 1921. Doin, Edit., p. 205.
105. — MARTEL. — *Les Abîmes*. — Paris, 1894. Delagrave, Edit.
106. — De MARTONNE. — *Traité de Géographie physique*. — 6^e Edition, 1940. A. Colin, Edit., Paris.
107. — MATHIEU. — *Les terres limoneuses d'alluvions de la région d'Avignon*. — Bull. Assoc. Fr. Etude du Sol, t. 1, N° 2, octob. 1935, pp. 33/36. — T. II, octob. 1936, pp. 178/187. — T. IV, juin 1938, pp. 113/120.
108. — MATHIEU. — *Contribution à l'étude de quelques rapports entre l'eau, le sol et la plante. Etude d'un procédé d'alimentation souterraine des plantes en eau*. — Thèse Doctorat. Univers. Cl.-Ferrand, 1932.
109. — MAUME. — *La fertilisation des prairies irriguées en Crau*. — Ann. Agrom., t. XI, 1941, N° 1.
110. — MAZAURIC. — *Le Gardon et son Canion inférieur*. — Mém. Soc. Spéléologie, t. II, N° 12, 1898.
111. — MOLINIER. — *Contribution à l'étude de la Flore de la Provence occidentale*. — Bull. « Le Chêne ». Marseille, 1935.
112. — MOLINIER. — *La végétation du Lubéron*. — Bull. « Le Chêne », N° 45. Marseille, 1938.
113. — MOLINIER. — *Etudes phytosociologiques et écologiques en Provence occidentale*. — Thèse Faculté des Sc. Paris, 1934. Ann. Muséum Hist. Natur. Marseille, 1934.

114. — MOLINIER et PRAT. — *Remarque sur l'évolution de la végétation et du climat en Provence.* — Bull. Muséum Hist. Natur. Marseille, 1943.
115. — MOLINIER et TALLON. — *Le Teucrium Cravense.* — C. R. Acad. des Sc., t. CCXXIV, 21 avril 1947.
116. — MOLINIER et TALLON. — *Les prairies de Crau.* — Ann. Agronom., N° 3, 1949.
117. — MOLINIER et BRAUN-BLANQUET. — *Une excursion phyto-sociologique p l'île de Porquerolles.* — Bull. « Le Chêne », N° 40, 1935.
118. — NEGRE. — *Forêts et reboisements dans le département du Gard.* — Revue des Eaux et Forêts, oct. 1931.
119. — NOVAK. — *Quelques problèmes du Climat du Sol.* — C. R. Ass. Intern. Sc. du Sol. — Vol. A, N° 1, 1936.
120. — OUDIN. — *Communication sur la cartographie des sols de France.* — Bull. Ass. Fr. Etude des Sols, t. II, 1936, N° 4, pp. 237/242.
121. — OUDIN. — *Fer et processus pédogéniques.* — XVII^e Congrès de Chimie Industrielle. Nancy 1938. — C. R. Chimie et Industrie.
122. — ORCEL et CALLIERE. — *Analyse thermique différentielle des argiles.* — C. R. Acad. des Sc., 1933, t. CXCVII.
123. — PALMANN. — *Pédologie et Phyto-sociologie.* — C. R. Confér. Pédologie Méditerran., 1947. Berger-Levrault, Edit., pp. 3/36.
124. — PENDLETON. — *Sols rouges méditerranéens.* — C. R. Confér. Pédologie Méditerran. 1947, p. 161.
125. — De PERALTA. — *Influence de l'humidité constante et variable sur le développement des plantes.* — The Philippine Agriculture. Los Banos Laguna. Mai 1922.
126. — PIEDALLU. — *Explosif et Agriculture.* — Ann. Agronom., 1932, p. 384.
127. — PORCHET. — *Etude des eaux souterraines de la Crau.* — C. R. des Séances du Congrès de l'Eau en Crau. Marseille, 1930, pp. 81 à 170.
128. — RADET et MANTELET. — *Etude pédologique de la Champagne crayeuse.* — Bull. Ass. Fr. Etude du Sol, t. IV, N° 4, 1938, p. 279.
129. — RADET et MANTELET. — *Etude pédologique des sols des plateaux jurassiques dans l'Est de la France.* — Bull. Ass. Fr. Etude du Sol, t. III, N° 3, 1937, p. 204.
130. — REIFENBERG. — *Formation des sols rouges méditerranéens.* — Trans. of the III^e Intern. Congress of Soil Sciences. Oxford 1935, vol. I, pp. 306/310.
131. — REIFENBERG. — *Quelques observations sur les sols rouges.* — C. R. Confér. Pédologie Méditerran., 1947, p. 161. Berger-Levrault, Edit.
132. — RINNE. — *La science des roches.* — Edition française par Léon Bertrand, 1928. Paris. Lamarre, Edit., p. 422.
133. — RISLER. — *Géologie Agricole.* — Encyclop. agricole. Baillière, Edit. Paris.
134. — ROBINSON. — *Soils.* — 2^e Edition. Thomas Murby. London. Chap. XIV, p. 332.
135. — RUSSELL (J.). — *Les conditions du sol et la croissance des plantes.* — (Traduction G. Matisse). Flammarion, Edit., Paris.
136. — RUSSELL (E.-S.). — *Les micro-organismes du sol.* — Rothamsted Monography on agricult. Science, 1923.
137. — RUSSELL (J.). — *L'érosion du sol.* — Ann. Agronom., 1939, t. IX, p. 539.

138. — SAGUI. — *La genèse des bauxites*. — Bull. Ass. Fr. Etude du Sol, t. IV, N° 1, pp. 36/40.
139. — SCAETTA. — *Observations sur l'origine et la constitution des sols de l'A.O.F.* Ann. Agronom., 1940, p. 114.
140. — SCHAW. — *Quelques sols de Californie et leur relation entre eux (Classification)*. — Univers. of California. Press. Berkeley California, 1937.
141. — SION. — *La France méditerranéenne*. — Paris 1941. Collection A. Colin.
142. — STEBUTT. — *Contribution à la genèse de la terre brune (Braunerde)*. — Zeitz, F. XV, A., 1929, p. 134.
143. — STREMMER. — *Éléments de pédologie pratique*. — Berlin 1926.
144. — SUEN-TANG-YUET. — *Les loëss de la vallée du Rhône*. — Thèse 1934. Rioux, Edit., Lyon.
145. — SUESS. — *La face de la Terre*. — Traduction française. A. Colin, Edit., Paris.
146. — TALLON. — *Le bois des Rièges (Camargue)*. — Vol. 2^e Congrès Intern. de Protection de la Nature, Paris 1931.
147. — TERROINE. — *Le Métabolisme de l'Azote. — Physiologie des substances protéiques*. — Presses Universit. de France, Paris, 1936.
148. — TERROINE et Mille VALLA. — *Valeur comparée des différents aliments protéiques dans la croissance*. — Bull. Soc. Scientif. Hygiène Alimentaire, 1933, 21, pp. 107-174.
149. — THEROND. — *La culture du riz en Camargue et la mise en valeur des sols salés*. — Science et Vie, t. LX, N° 292, déc. 1941.
150. — URBAIN. — *Introduction à l'étude des roches argileuses*. Hermann, Edit., — Paris, 1937.
151. — DEL VILLAR. — *Les sols méditerranéens étudiés en Espagne*. — Madrid, 1930.
152. — DEL VILLAR. — *Sols alcalins d'Espagne*. — Mezogazdasagi Hutasok, t. VI, N° 12, p. 510, déc. 1933.
153. — YANKOVITCH. — *Etude pédo-agrologique de la Tunisie*. — Ann. Serv. Botan. et Agr. de Tunisie, t. XII-XIII, 1935-1936, pp. 416/558.



TABLE DES MATIÈRES

PREMIERE PARTIE

LA PRODUCTION AGRICOLE DE LA REGION DU BAS-RHONE	11
§ I. — Données géographiques sur la région du Bas-Rhône....	12
§ II. — Production agricole — Historique et évolution des cultures	15
§ III. — Les facteurs de la production agricole : Milieux naturel et humain ; leur importance relative.....	22

DEUXIEME PARTIE

LE MILIEU NATUREL DE LA REGION DU BAS-RHONE.....	27
Chapitre I. — LES CLIMATS	29
§ I. — Les caractéristiques des climats du Bas-Rhône.....	29
§ II. — La protection climatique des cultures.....	38
A) Aménagement agricole des eaux.....	39
B) Lutte contre les variations brusques de température et les intempéries	56
Chapitre II. — RELIEF-EXPOSITION	65
Chapitre III. — LES SOLS	71
§ I. — Etude des roches-mères	72
1°) Les roches-mères au point de vue géologique	72
2°) Désagrégation et destruction chimique des roches.....	74
3°) Les roches-mères et leurs phénomènes géogéniques.....	79
4°) Cartographie des roches-mères	94
§ II. — Etude pédologique	95
1°) La végétation du Bas-Rhône	95
2°) Nomenclature et classification des sols du Bas-Rhône et de sa bordure montagneuse	106
3°) Orientation de la pédologie dans la basse vallée du Rhône	108
4°) Description et répartition des types de sols du Bas-Rhône. — Leur nature agrologique et leur vocation culturale....	111
5°) Cartographie des sols du Bas-Rhône.....	160
§ III. — La Conservation du sol	161
§ IV. — Dynamique des sols	167
1°) Le problème de l'humus dans les sols du Midi.....	168
2°) Evolution de l'urée dans le sol.....	177
3°) Considérations sur la fertilisation des cultures maraîchères	180

TROISIEME PARTIE

QUELQUES APPLICATIONS DE L'ETUDE DES FACTEURS DU MILIEU NATUREL DANS LA RECHERCHE DE L'ADAPTATION DES CULTURES DANS LE BAS-RHONE.....	183
--	------------

